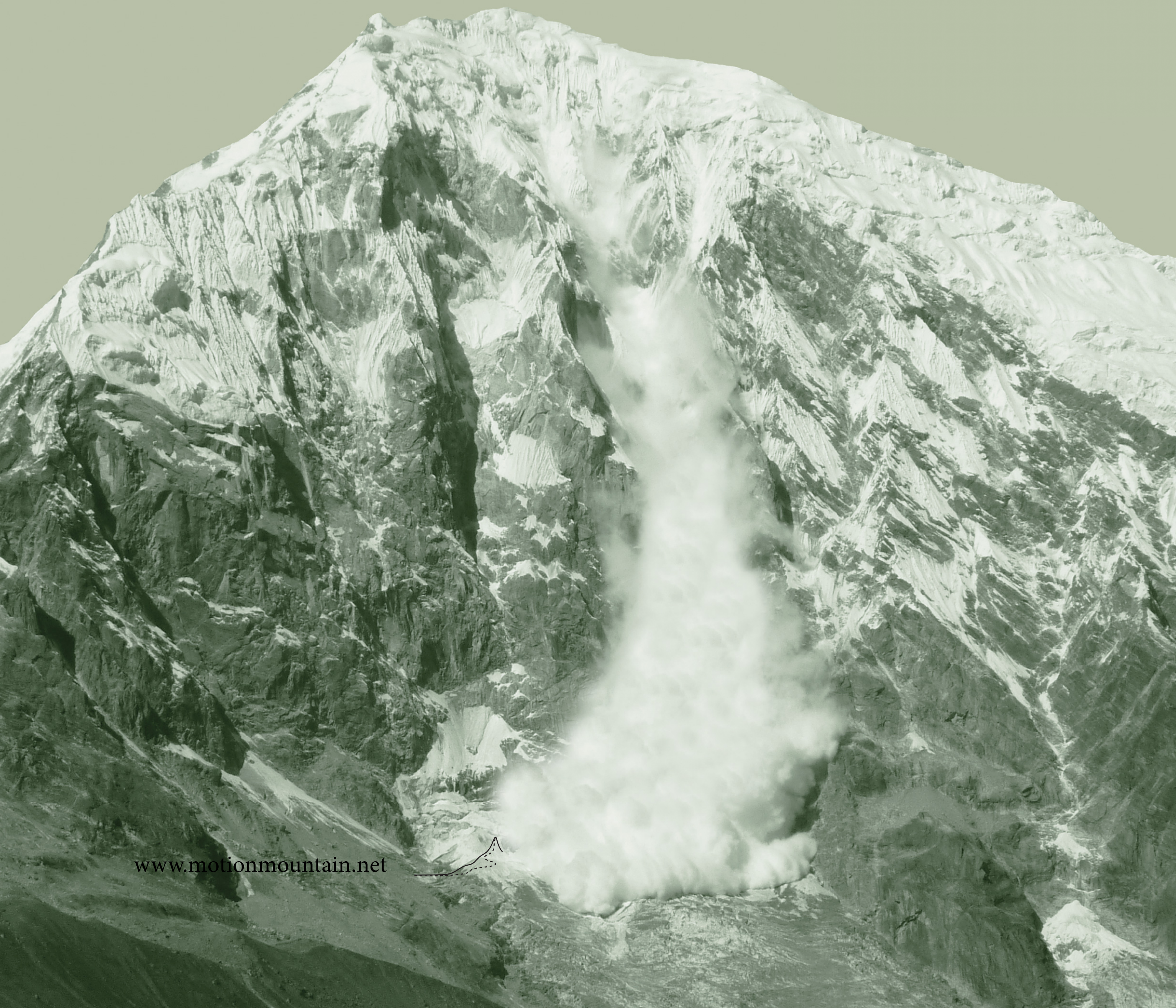
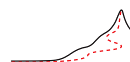
Christoph Schiller   Dịch giả: Cao Sĩ Sơn

HÀNH SƠN

CUỘC PHIÊU LƯU CỦA VẬT LÝ – QUYỂN III

ÁNH SÁNG, ĐIỆN TÍCH VÀ NÃO BỘ

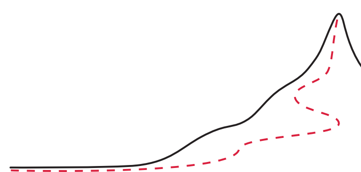




Christoph Schiller

Dịch giả: Cao Sĩ Sơn

Hành Sơn



Cuộc phiêu lưu của Vật lý
Quyển III

Ánh sáng, Điện tích và Não bộ

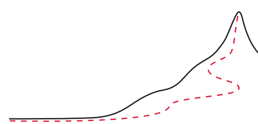
Ấn bản 31, có bản miễn phí dạng pdf kèm với film tại trang web www.motionmountain.net


BY NC ND

To Britta, Esther and Justus Aaron

τῷ ἐμοὶ δαὶμονι

Die Menschen stärken, die Sachen klären.



Lời mở đầu

> Primum movere, deinde docere.*
>
> Cổ nhân

Bộ sách này dành cho những người muốn tìm hiểu về chuyển động trong thiên nhiên. Sự vật, con người, động vật, hình ảnh và không gian chuyển động như thế nào? Câu trả lời dẫn tới nhiều cuộc phiêu lưu và quyển sách này tìm hiểu về các hiện tượng điện học: từ việc cân dòng điện tới việc sử dụng từ trường để chữa lành xương bị gãy, từ việc sử dụng ánh sáng để cắt kim loại cho tới việc tìm hiểu não bộ của con người.

Trong cấu trúc của Vật lý, được trình bày trong Hình 1, chuyển động bắt nguồn từ điện là phần khởi điểm hấp dẫn nhất nằm ở dưới đáy. Thật vậy, hầu như mọi sự vật quanh ta đều bắt nguồn từ các quá trình điện. Phần giới thiệu về điện, từ, ánh sáng và não bộ là phần 3 của bộ tổng quan về Vật lý gồm 6 quyển nảy sinh từ 3 mục tiêu mà tôi đã theo đuổi từ năm 1990: trình bày chuyển động theo phương thức đơn giản, hiện đại và hấp dẫn.

Với mục đích *đơn giản*, quyển sách sẽ tập trung vào các khái niệm và giới hạn phần toán học ở mức tối thiểu. Việc tìm hiểu các khái niệm vật lý được ưu tiên hơn việc sử dụng các công thức tính toán. Kiến thức của quyển sách chỉ ở trình độ của sinh viên đại học.

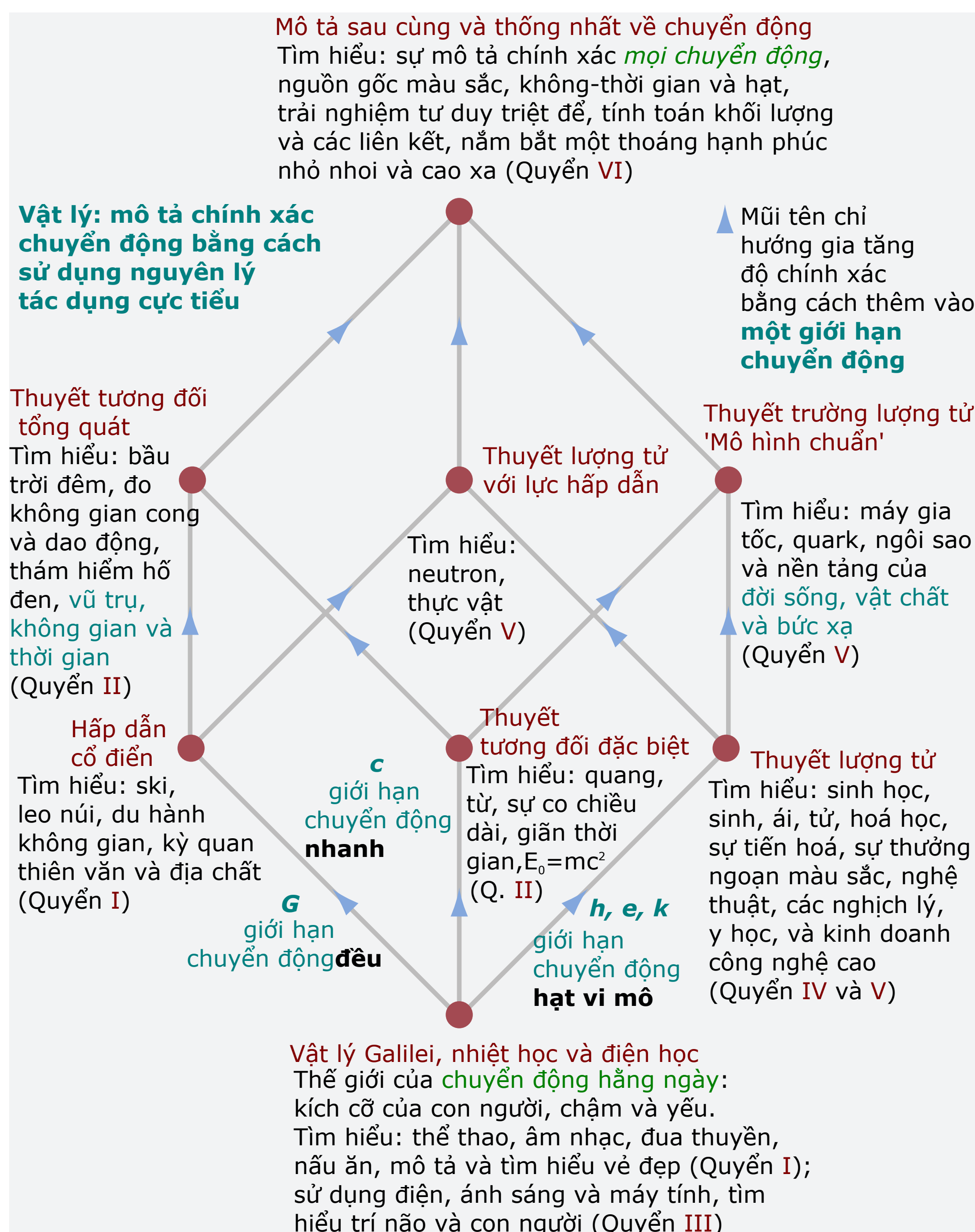
Với mục đích *hiện đại*, quyển sách sở hữu rất nhiều các tư liệu quý – cả lý thuyết lẫn thực nghiệm – rải rác trong nhiều tài liệu khoa học.

Với mục đích *hấp dẫn*, quyển sách sẽ cố gắng làm cho độc giả ngạc nhiên thật nhiều. Việc đọc một quyển sách vật lý đại cương sẽ giống như đi xem ảo thuật. Chúng ta xem, ngạc nhiên, không tin vào mắt mình, suy nghĩ và sau cùng ta hiểu được mánh lới của trò ảo thuật. Khi quan sát thiên nhiên, ta cũng có cùng một kinh nghiệm như thế. Thật vậy, mỗi trang sách đều chứa ít nhất một điều bất ngờ hay một sự khích động khiến độc giả phải ưu tư.

Câu châm ngôn của quyển sách, *die Menschen stärken, die Sachen klären*, một phát biểu nổi tiếng về giáo dục, có thể dịch ra là: 'Làm cho con người trở nên mạnh mẽ, làm sáng tỏ mọi điều.' Việc làm sáng tỏ mọi điều – chỉ trung thành với sự thật – đòi hỏi sự can đảm, vì thay đổi tập quán suy nghĩ sẽ làm phát sinh sự sợ hãi, thường được che giấu bằng sự giận dữ.

Nhưng bằng cách vượt qua nỗi sợ hãi chúng ta sẽ trở nên mạnh mẽ đồng thời sẽ cảm nhận được những xúc cảm mãnh liệt và tốt đẹp. Mọi cuộc phiêu lưu vĩ đại trong đời

* 'Chuyển động trước, giáo huấn sau.' Trong ngôn ngữ hiện đại, *lay động* (trái tim) được gọi là *khuyến khích*; cả hai từ đều có cùng ngữ căn Latin.



HÌNH 1 Một bản đồ đầy đủ của vật lý, khoa học về chuyển động, được Matvei Bronshtein (b. 1907 Vinnytsia, d. 1938 Leningrad) giới thiệu lần đầu tiên. Hình lập phương Bronshtein bắt đầu từ dưới cùng với chuyển động thông thường và cho thấy các mối liên hệ của nó với các lĩnh vực vật lý hiện đại. Hướng của các kết nối biểu diễn sự gia tăng độ chính xác của việc mô tả nhờ các giới hạn được thêm vào. Giới hạn của chuyển động đều là hằng số hấp dẫn G, của chuyển động nhanh là tốc độ ánh sáng c, và của chuyển động của các hạt vi mô là hằng số Planck h, điện tích sơ cấp e và hằng số Boltzmann k.

đều cho phép điều này xảy ra và việc tìm hiểu về chuyển động là một trong những cuộc phiêu lưu đó. Hãy tận hưởng điều này.

Munich và Sài Gòn, 05-2020

Cách sử dụng sách

Những ghi chú bên lề sẽ chỉ đến các tham chiếu thư tịch, các trang khác hay lời giải của các câu đố. Trong ấn bản màu, ghi chú bên lề, chỉ dấu tới cước chú và liên kết đến các website được tô màu xanh lục. Theo thời gian, các liên kết internet có thể biến mất. Đa số các liên kết đều có thể phục hồi thông qua trang www.archive.org, nơi lưu giữ các bản sao của các trang web cũ. Trong ấn bản miễn phí của sách này dưới dạng pdf, sẵn có tại trang www.motionmountain.net, mọi chỉ dấu và liên kết xanh lục đều có thể truy cập được. Ấn bản pdf cũng chứa tất cả các film có thể xem trực tiếp bằng Adobe Reader.

Lời giải và gợi ý của các *câu đố* được cho trong phụ lục. Các câu đố được phân loại thành các mức độ dễ (e), học sinh bình thường (s), khó (d) và mức độ nghiên cứu (r). Các câu đố chưa có lời giải trong sách được đánh dấu (ny).

Lời khuyên dành cho học viên

Học tập cho phép ta thấy được mình trong tương lai, giúp ta mở mang kiến thức, phát triển trí thông minh và cảm thấy tự hào. Do đó, học tập từ sách vở, đặc biệt là sách về tự nhiên, sẽ hiệu quả và thích thú. Hãy tránh xa các phương pháp học tập tệ hại như tránh bệnh dịch! Đừng dùng bút đánh dấu hay viết chì để làm nổi bật hay gạch dưới văn bản trên trang sách. Điều đó làm ta mất thì giờ, không thoải mái và làm cho văn bản trở nên khó đọc. Đừng học từ một màn hình. Đặc biệt, không bao giờ, học từ internet, video, game hay smartphone. Phần lớn internet, video và game là độc dược và ma tuý đối với não bộ. Smartphone là các nhà bào chế ma tuý làm người ta nghiện ngập và không học hành gì được. Không có ai đánh dấu lên trang giấy hay nhìn vào màn hình mà học hành có hiệu quả hay thích thú làm những việc như vậy.

Theo kinh nghiệm học và dạy học của tôi, có một phương pháp học tập để biến đổi một học sinh không đạt thành một học sinh thành công: nếu bạn đọc sách để học tập, hãy tóm tắt các phần đã đọc, *bằng cách đọc thật to bằng ngôn ngữ và hình ảnh riêng của bạn*. Nếu bạn không làm được như vậy, hãy đọc lại phần đó. Lặp lại quá trình này cho đến khi bạn có thể tóm tắt được những gì bạn đã đọc bằng cách trên. *Hãy thưởng thức* niềm vui của việc lớn tiếng kể chuyện! Bạn có thể làm việc này một mình hay với bạn bè, trong một căn phòng hay trong khi đi bộ. Nếu thành công, bạn sẽ giảm được một cách đáng kể thời gian học hành và đọc sách. Bạn sẽ thích thú hơn trong việc học từ những cuốn sách hay và bớt ghét những cuốn sách dở. Người làm chủ được phương pháp này có thể dùng nó ngay trong lúc nghe giảng bài, nhưng hạ thấp giọng, và sẽ tránh được việc ghi bài triền miên.

Lời khuyên dành cho giáo viên

Giáo viên thường thích có học trò và thích hướng dẫn học trò thám hiểm lĩnh vực mà họ đã chọn. Nhiệt tình với công việc là nguyên tắc cơ bản cho sự thoả mãn trong nghề

nghiệp. Nếu bạn là một giáo viên, trước khi bắt đầu bài học, hãy tự hình dung, tự cảm nhận và tự nhủ về sự yêu thích chủ đề của bài học; tiếp theo bạn hãy tự hình dung, tự cảm nhận và tự nhủ về cách thức mà bạn sẽ dùng để hướng dẫn học trò của bạn có được sự yêu thích chủ đề đó giống như bạn. Hãy làm việc này một cách có ý thức, mỗi ngày. Bạn sẽ đỡ phải gặp các điều phiền toái trong lớp và thành công nhiều hơn trong việc giảng dạy của mình. Cuốn sách này không viết cho mục đích thi cử mà mục đích của nó là làm cho giáo viên và học sinh *hiểu* và *yêu thích* môn vật lý, khoa học của chuyển động.

Phản hồi

Ấn bản pdf mới nhất của bộ sách này đang và sẽ còn cho bạn đọc download miễn phí từ internet. Tôi rất mong nhận được email từ các bạn tại địa chỉ fb@motionmountain.net, đặc biệt về các vấn đề sau đây:

Câu đố 1 s
— Những điều chưa rõ ràng và nên cải tiến?
— Bạn chưa hiểu câu chuyện, chủ đề, câu đố, hình ảnh hay đoạn film nào?

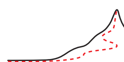
Tôi cũng hân hạnh đón nhận sự góp ý của các bạn về các điểm đặc biệt liệt kê trong trang web www.motionmountain.net/help.html. Mọi phản hồi sẽ được sử dụng để cải tiến ấn bản kế tiếp. Bạn có thể gởi phản hồi bằng mail hay file pdf có thêm các ghi chú màu vàng, hay cung cấp các hình minh hoạ, hình chụp, hay đóng góp vào trang errata wiki trên website. Nếu bạn muốn dịch một chương của cuốn sách sang ngôn ngữ của bạn, vui lòng cho tôi biết.

Thay mặt cho tất cả độc giả, xin cám ơn các bạn trước về những đóng góp này. Đối với những đóng góp đặc biệt hữu ích – nếu bạn muốn – bạn sẽ được ghi nhận trong phần cảm tạ, nhận quà thưởng, hay cả hai.

Trợ giúp

Chúng tôi rất hoan nghênh khi nhận được sự tài trợ từ các bạn cho tổ chức từ thiện, phi lợi nhuận (được miễn thuế) để soạn thảo, dịch thuật và phát hành bộ sách này. Để có thêm chi tiết hãy vào trang web www.motionmountain.net/donation.html. Sở thuế vụ của Đức sẽ kiểm tra việc sử dụng hợp thức nguồn tài trợ của bạn. Nếu bạn muốn, tên của bạn sẽ được ghi trong danh sách các nhà tài trợ. Thay mặt các độc giả trên toàn thế giới, chúng tôi xin cám ơn bạn trước.

Bản in trên giấy của bộ sách này, bản màu hay bản đen trắng, có bán trên www.amazon.com hay www.createspace.com. Và bây giờ, mời bạn thưởng thức cuốn sách.

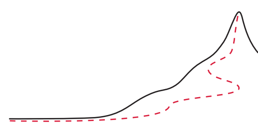


Mục lục



Ánh sáng, Điện tích và Não bộ

Trong cuộc hành trình tìm hiểu quy luật vận động của sự vật,
kinh nghiệm thám hiểm và kinh nghiệm về chuyển động
đã giúp ta hiểu được: điện tích tạo ra hình ảnh,
điện tích chuyển động, tích luỹ và tương tác,
trong thiên nhiên có một điện tích nhỏ nhất,
tình yêu phải làm gì với nam châm và hổ phách,
tại sao não bộ lại là một thiết bị kỳ diệu,
tiêu chuẩn phân biệt lời nói dối tốt với lời nói dối xấu.



Chương 1

Chất lỏng điện, trường vô hình và tốc độ cực đại

Việc nghiên cứu Thuyết tương đối vẫn để cho chúng ta nằm trong bóng tối với câu hỏi '*Ánh sáng* là gì?', mặc dù ta đã nỗ lực tìm kiếm câu trả lời chính xác cho câu hỏi đó. Thật ra ta đã biết chuyển động của ánh sáng so với chuyển động của các vật thể. Ta cũng đã biết ánh sáng là một thực thể chuyển động không ngừng, ánh sáng ấn định một giới hạn tốc độ cho mọi loại năng lượng, ánh sáng là tiêu chuẩn dùng để đo tốc độ. Tuy nhiên ta vẫn chưa biết gì về bản chất của ánh sáng cũng như về *màu sắc* hay cách mưa rơi** và những điều tạo ra chúng.

Câu hỏi thứ nhì: *tiếp xúc* là gì? vẫn chưa có câu trả lời. Khi tìm hiểu Thuyết tương đối ta đã biết rằng mọi tương tác, bao gồm sự tiếp xúc, bắt nguồn từ sự trao đổi một vật gì đó. Nhưng đó là cái gì? Ta chỉ biết là không có sự tương tác cơ học thật sự. Vậy bản chất của tiếp xúc là gì?

Quyển II, trang 86

Câu hỏi thứ ba: làm thế nào ta *cảm nhận được* sự tiếp xúc hay đụng chạm? *Cảm biến* là cái gì và xuất liệu của chúng đã được xử lý trong não hay trong các cơ quan như thế nào? Không chỉ có não mà mọi hệ thống xử lý dữ liệu đều sử dụng điện. *Dữ liệu* là gì và *điện* là gì?

Câu trả lời cho các câu hỏi này, về bản chất của ánh sáng, tiếp xúc và não bộ, *không* có liên quan gì tới sự hấp dẫn. Nếu ta liệt kê các động cơ tìm được trong thế giới này, ta sẽ nhận thấy rằng khó mà dùng sự hấp dẫn để mô tả chúng. Chuyển động của sóng biển, lửa, động đất, một ngọn gió hiu hiu, đều không do trọng lực gây ra. Chuyển động của ánh sáng trong cầu vồng hay chuyển động của bắp thịt cũng vậy. Bạn đã nghe tiếng tim đập của bạn bằng ống nghe chưa? Bạn cũng có thể sử dụng, như nhiều bác sỹ y khoa, một mobile phone để ghi lại nhịp tim của bạn). Nếu chưa làm như vậy, bạn không thể tuyên bố rằng mình đã trải nghiệm qua sự bí mật của chuyển động. Tim của bạn đã đập khoảng 3 tỷ lần trong suốt một đời. Rồi ngừng.

Quyển I, trang 233

Câu đố 2 e

Một trong các khám phá đáng kinh ngạc nhất của khoa học là nguồn gốc của nhịp tim, lửa, ánh sáng và tư tưởng đều có liên hệ với các thí nghiệm được thực hiện cách nay hàng ngàn năm bằng cách sử dụng 2 hòn đá kỳ lạ. Những hòn đá này chứng tỏ rằng

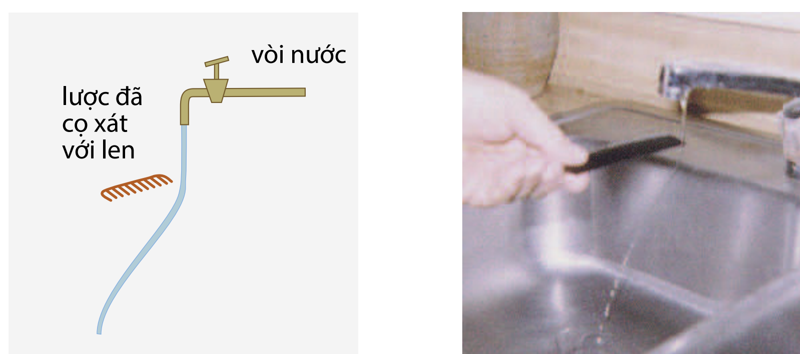
▷ Mọi chuyển động *cơ học* trong đời sống hằng ngày đều có nguồn gốc thống nhất là *điện*.

Đặc biệt, tính cứng, mềm và bất khả xuyên thấu của vật chất đều bắt nguồn từ tính chất điện ở bên trong vật. Nhưng sự phát xạ ánh sáng, sự tạo ra màu sắc và hoạt động của

** Hình cầu vồng tròn ở Trang 14 đã được chụp năm 2006 từ tháp Telstra, Canberra (© Oat Vaiyaboon).



HÌNH 2 Các vật thể đều có các trường bao quanh : hổ phách (khoảng 1 cm) hút mạt cưa, đá từ tính (gần 1 cm) hút vụn sắt và mobile phone (khoảng 10 cm) thu hút các mobile phone khác và con người (© Wikimedia, Philips).



HÌNH 3 Cách làm trẻ con ngạc nhiên, đặc biệt khi thời tiết khô ráo (photo © Robert Fritzius).

Xem 1 dây thần kinh và não bộ đều bắt nguồn từ các quá trình điện. Vì những điều này là phần chính của đời sống nên ta có thể gác lại các rắc rối bắt nguồn từ lực hấp dẫn và không-thời gian cong.

Tìm hiểu ánh sáng, sự tiếp xúc và não bộ bao gồm cả việc tìm hiểu cách các ảo thuật gia làm các vật thể bay lơ lửng. Thật vậy, cách nghiên cứu chuyển động điện hữu ích nhất là bắt đầu, như trong trường hợp lực hấp dẫn, từ các kiểu chuyển động được sinh ra mà không cần sự tiếp xúc giữa các vật. Điều này có thể xảy ra theo 3 cách.

Trường: hổ phách, đá từ tính và mobile phone

Bạn luôn luôn có thể làm cho trẻ con ngạc nhiên bằng các hiệu ứng được trình bày trong Hình 3: một cái lược cọ xát với len làm lệch một vòi nước đang chảy. Tác dụng tương tự cũng có thể được tạo ra bằng một bong bóng cao su nạp đầy không khí cọ xát với len. Mọi người đều có thể làm lệch dòng nước mà không cần tiếp xúc.

Người Hy Lạp đã quan sát hiệu ứng này cách nay rất lâu. Đúng ra câu chuyện về điện bắt đầu với cây cối. Cây có mối liên hệ đặc biệt với điện. Khi cây bị hạ, nhựa cây sền sệt xuất hiện. Rồi nó cứng dần và sau nhiều triệu năm, nó tạo thành *hổ phách*. Khi hổ phách được cọ xát với lông mèo, nó có khả năng hút các vật nhỏ, như mạt cưa hay giấy vụn.

Điều này thì Thales ở Miletus, một trong thất hiền, đã biết vào thế kỷ thứ 6 BCE. Hiện tượng tương tự cũng xảy ra với nhiều tổ hợp polymer, như lược và tóc, gót giày trên thảm, bụi và thấu kính hay ống tia âm cực của TV cũ. Ta có thể quan sát được nhiều hiệu ứng thú vị khác khi lược (đã cọ xát với len) được đặt gần ngọn nến đang cháy. (Bạn có thể tưởng tượng được điều gì sẽ xảy ra không?)

Câu đố 3 s

Một phần khác của câu chuyện về điện liên quan tới *đá từ tính*, một khoáng chất sắt được tìm thấy trong các hang động trên khắp thế giới, thí dụ như trong miền (vẫn còn) được gọi là Magnesia ở tỉnh Thessalia, Hy Lạp và một số miền ở Trung Á. Khi 2 hòn đá của khoáng chất này được đặt gần nhau, chúng hút hay đẩy nhau, tuỳ theo hướng của chúng. Ngoài ra, đá từ tính còn hút các vật làm bằng cobalt, nickel hay sắt.

Ngày nay ta cũng đã tìm thấy nhiều vật thể nhỏ khác nhau trong thiên nhiên với các tính chất phức tạp hơn, như vật ở bên phải của Hình 2. Các vật này cho ta nói chuyện với các người bạn ở xa, mở cửa xe, hay mở TV.

Tóm lại, trong thiên nhiên có những trường hợp mà vật thể ảnh hưởng đến các vật khác *ở xa*. Không gian quanh vật có thể ảnh hưởng đến vật khác được gọi là trường. Một *trường (vật lý)* là một thực thể tự thể hiện bằng cách gia tốc các vật khác nằm trong vùng không gian đã cho.

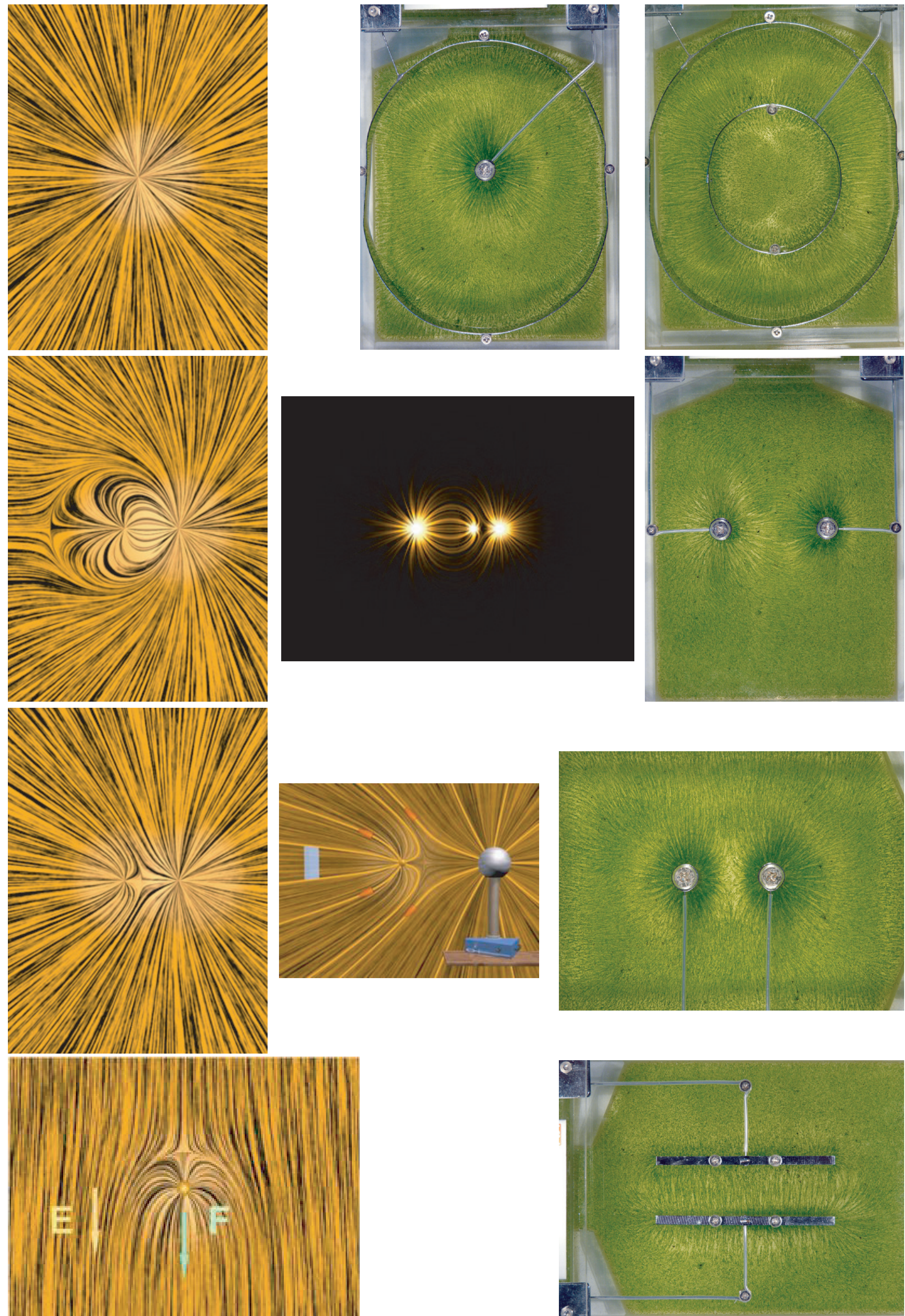
▷ Trường là không gian làm thay đổi động lượng.

Hay nếu bạn thích thì có thể nói *trường là không gian có thể tác dụng lực*. Hay trường là không gian có cấu trúc đặc biệt. Dù có cấu trúc đặc biệt, giống như không gian, ta không thể thấy trường. Ba loại vật thể vừa đề cập tạo ra 3 loại trường.

1. Trường bao quanh hổ phách – được gọi là ἤλεκτρον trong tiếng Hy Lạp, có nghĩa gốc là 'sáng ngời' – là *điện trường*. Tên này bắt nguồn từ một đề nghị của y sĩ và vật lý gia tài tử nổi tiếng William Gilbert (b. 1544 Colchester, d. 1603 London). Vật thể luôn có điện trường bao quanh được gọi là *điện châm*. Điện châm không phổ biến; chúng được dùng trong một số hệ thống loa. Điện châm có thể là các tinh thể hay polymer.
2. Trường bao quanh khoáng chất Magnesia được gọi là *từ trường* và vật tạo ra từ trường thường xuyên được gọi là *nam châm*. Phần lớn các nam châm, nhưng không phải là tất cả, được tạo thành từ kim loại.
3. Trường bao quanh mobile phone được gọi là trường *vô tuyến* hay như ta sẽ thấy sau này, *điện từ* trường. Khác với các trường trên, nó dao động theo thời gian. Sau này ta sẽ thấy nhiều vật thể khác được các trường như vậy bao quanh, mặc dù các trường này thường rất yếu. Các vật phát ra các trường dao động, như mobile phone hay đèn, được gọi là các máy phát vô tuyến hay máy phát điện từ. Máy phát vô tuyến như ta sẽ thấy, đã quen thuộc với đời sống hằng ngày: đèn và laser.

Xem 2

Thực nghiệm chứng tỏ rằng trường *không có khối lượng* và cũng không phải là giá đỡ bằng vật liệu. Trường có ảnh hưởng đến các vật ở xa. Vì trường vô hình nên để có thể tưởng tượng ra chúng, ta cần tô màu chúng. Các phương thức tô màu *điện trường* được trình bày trong Hình 4. Việc tô màu được lấy ý tưởng từ các thí nghiệm với hạt giống hay hạt bụi. Việc hiển thị từ trường và điện từ trường được giải thích dưới đây. Các hình này là cách tốt nhất để *hiển thị* điện trường; nhà nghiên cứu đầu tiên đưa ra khái niệm trường, Michael Faraday, cũng sử dụng những hình ảnh này.



HÌNH 4 Hiển thị những đối tượng vô hình bằng đồ hoạ máy tính (hình bên trái) và bằng các hạt giống trong dầu (hình bên phải): điện trường là không gian có cấu trúc. Hàng trên cùng: trường quanh một điểm hay một hình cầu tích điện; hàng thứ 2: 2 hay 3 điện tích khác dấu; hàng thứ 3: 2 điện tích cùng dấu; hàng dưới cùng: 1 điện tích trong trường ngoài E và điện trường giữa 2 bản phẳng. Điện tích sẽ chịu tác dụng của một lực F hướng dọc theo điện trường tuyến; mật độ của trường tuyến biểu diễn cường độ điện trường cũng là cường độ của lực (© MIT, Eli Sidman, MIT).



HÌNH 5 Sét: hình ảnh được chụp bằng một máy ảnh chuyển động, cho ta thấy nhiều cú đánh của sét (© Steven Horsburgh).

Khi tìm hiểu cách hiển thị trường, ta cần chú ý rằng ta có thể biểu diễn điện trường bằng một mũi tên nhỏ hay vector gắn liền với mỗi điểm của không gian, hay bằng một bó đường trong mỗi vùng không gian. Cả 2 cách hiển thị đều hữu dụng. Ta sẽ gặp thêm nhiều cách hiển thị dưới đây.

Trong một thời gian dài người ta không nhận ra điện trường, từ trường và điện từ trường trong đời sống hằng ngày. Thật vậy, trong quá khứ, nhiều quốc gia đã có luật không cho phép tạo ra các trường như vậy! Ngày nay vẫn còn các luật quy định nghiêm ngặt các tính chất của máy móc sử dụng và sản xuất các trường như vậy. Những luật này quy định rằng đối với các thiết bị chuyển động, sản xuất âm thanh, tạo ra film ảnh, thì các trường phải được giữ *bên trong* các thiết bị đó. Cũng vì lý do này mà một ảo thuật gia làm di chuyển một vật trên bàn nhờ một nam châm giấu kín vẫn còn làm cho khán giả ngạc nhiên và thích thú. Để cảm nhận được sự quyến rũ của trường mạnh mẽ hơn, ta phải tìm hiểu cặn kẽ thêm một vài kết quả thực nghiệm.

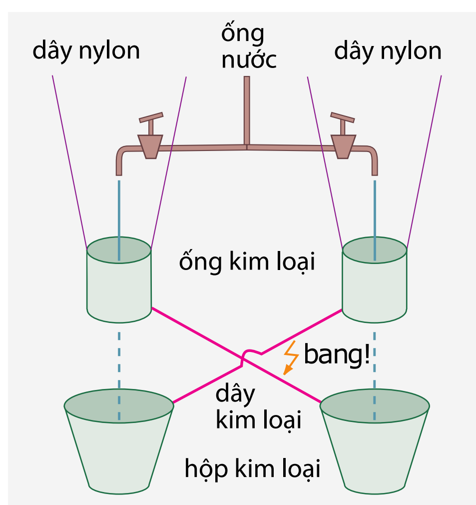
Người ta có thể tạo ra sét bằng cách nào?

Chúng ta đã từng thấy ánh chớp của tia sét và hậu quả khi nó đánh trúng một ngọn cây. Rõ ràng tia sét là một hiện tượng chuyển động. Những hình ảnh như Hình 5 cho ta thấy đầu của tia sét di chuyển với tốc độ trung bình khoảng 600 km/s. Nhưng *cái gì* đang chuyển động? Để hiểu rõ ta phải tìm ra cách tự tạo ra tia sét. Năm 1995, công ty xe Opel tình cờ tái khám phá một phương pháp đơn giản và xưa cũ để làm được điều này.

Các kỹ sư của Opel đã tình cờ tạo ra được một bộ phận sinh ra tia lửa điện trong xe; Xem 3 khi đổ đầy bình xăng tia lửa điện đã được sinh ra, có lúc đã làm nổ trạm xăng. Opel đã thu hồi 2 triệu xe.

Các kỹ sư đã phạm phải sai lầm gì? Họ đã vô tình sao chép các điều kiện dành cho một thiết bị đánh lửa mà bất kỳ ai cũng có thể tạo ra ở nhà do William Thomson phát minh:* *máy phát điện Kelvin*. Để làm lại thí nghiệm của ông, ta sẽ lấy 2 vòi nước, bốn Xem 4 hộp đựng đậu hay cà phê rỗng, có 2 hộp hở cả 2 đầu, một số dây nylon và dây kim loại.

* William Thomson (b. 1824 Belfast, d. 1907 Largs),vật lý gia nổi tiếng, giáo sư đại học Glasgow. Ông đã





HÌNH 6 Một máy phát điện Kelvin đơn giản; máy ở hình bên phải làm sáng một đèn huỳnh quang bằng cách sử dụng các giọt nước (photograph © Harald Chmela).

Nối tất cả với nhau như trong Hình 6, và cho nước chảy, ta thấy một hiện tượng kỳ lạ: các tia lửa điện mạnh đều đặn phóng qua 2 sợi dây đồng ở nơi chúng gần nhau nhất, gây ra những tiếng nổ lớn. Bạn có thể đoán ra điều kiện mà dòng nước phải có để thiết bị này hoạt động không? Và Opel phải làm gì để sửa chữa các xe bị thu hồi?

Câu đố 4 s

Nếu ta tắt nước trong máy phát điện Kelvin trước khi tia lửa kế tiếp xảy ra, ta thấy rằng cả hai xô chứa nước đều có thể hút mạt cưa hay giấy vụn. Máy phát điện lúc đó giống như hổ phách đã được cọ xát, chỉ có thêm tiếng nổ. Cả 2 xô và các mảnh kim loại gắn với chúng đều có điện trường bao quanh. Các trường này tăng lên theo thời gian cho tới khi có tia lửa điện phóng qua. Ngay sau khi phóng điện, các hộp (gần như) không còn điện trường bao quanh. Rõ ràng là dòng nước bằng cách nào đó đã thu được vật gì đó trên các hộp này; ngày nay ta gọi chúng là *điện tích*. Ta cũng nói rằng những vật như vậy *được tích điện*. Thí nghiệm này và các thí nghiệm khác cũng chứng tỏ rằng điện tích có thể *chảy* trong kim loại. Khi điện trường đủ mạnh, điện tích cũng có thể chảy xuyên qua không khí, dẫn tới tia lửa điện hay tia sét.

Ta cũng nhận thấy rằng hai xô đựng nước luôn được bao quanh bởi *hai loại* điện trường khác nhau: các vật thể bị xô này hút thì bị xô kia đẩy. Thiên tài Charles Dufay (b. 1698 Paris, d. 1739 Paris) đã phát hiện:

nghiên cứu về việc xác định niên đại Trái đất, chứng tỏ rằng nó già hơn 6000 năm, như nhiều giáo phái đã tin tưởng, nhưng cũng bảo vệ (một cách sai lầm) ý kiến cho rằng Trái đất trẻ hơn tuổi do các nhà địa chất và Darwin đã suy ra (một cách đúng đắn). Ông có tầm ảnh hưởng lớn đến sự phát triển Lý thuyết điện từ, sự mô tả aether và Nhiệt động lực học. Ông phổ biến việc sử dụng thuật ngữ 'năng lượng' như ta đã sử dụng hiện nay, thay cho các thuật ngữ cũ sai lầm. Ông là một trong những nhà khoa học sau cùng truyền bá cho việc sử dụng sự tương tự cơ học để giải thích các hiện tượng và đối kháng mãnh liệt với cách mô tả các hiện tượng điện từ của Maxwell. Chính vì lý do này mà ông không nhận được giải Nobel. Ông cũng là một trong những người đứng đầu trong việc tổ chức đặt đường cáp điện báo xuyên Đại tây dương. Là một người mang phong cách thời Victoria và sùng đạo, khi được phong tước hiệp sĩ, ông đã chọn tên của một con suối nhỏ gần nhà làm tên mới; ông trở thành Nam tước Kelvin of Largs. Do đó đơn vị nhiệt độ lấy tên từ một con sông nhỏ ở Tô Cách Lan.

▷ Có *2 loại* điện tích khác nhau.

Sau nhiều chuỗi thí nghiệm dài và cẩn thận ông khẳng định rằng *mọi* vật liệu mà ông
Xem 5 có, đều có thể tích điện và có thể chia thành 2 loại. Ông là người đầu tiên chứng tỏ rằng:

▷ Các vật có điện tích *giống nhau* thì *đẩy* nhau và các vật có điện tích *khác nhau* thì *hút* nhau.

Dufay đã chứng minh một cách chi tiết rằng mọi thí nghiệm về điện đều có thể giải thích được bằng các phát biểu này. Dufay gọi 2 loại điện tích là 'thuỷ tinh' và 'nhựa'. Không may, Dufay qua đời sớm. Tuy vậy, các kết quả của ông nhanh chóng lan rộng. Vài năm sau đó, Georg Bose sử dụng chúng để phát triển máy tích điện đầu tiên, được tạo ra cho mục đích tìm hiểu các tia lửa điện và khoa học về điện trở nên thời thượng khắp châu Âu.*

Hai mươi năm sau Dufay, vào thập niên 1750, chính trị gia và vật lý gia tài tử Benjamin Franklin (b. 1706 Boston, d. 1790 Philadelphia) đề nghị gọi điện tích được tạo ra trên đũa thuỷ tinh được cọ xát với vải khô là điện tích *dương* thay vì thuỷ tinh, và điện tích trên hổ phách là điện tích *âm* thay vì nhựa. Như vậy thay vì 2 loại, ông đề nghị

▷ Thật sự chỉ có *1* loại điện tích.

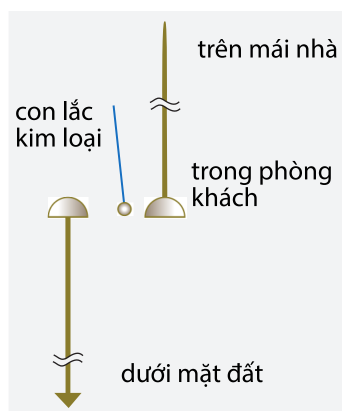
Các vật có thể có quá nhiều hay quá ít điện tích. Theo thuật ngữ mới, vật mang điện tích cùng dấu đẩy nhau và vật mang điện tích trái dấu hút nhau; các điện tích trái dấu đi cùng nhau sẽ trung hoà nhau. Giá trị tuyệt đối của điện tích lớn thì tác dụng là của điện tích đó. Như vậy phải mất hơn 100 năm để khái niệm này được công nhận.

Tóm lại, *tác dụng điện bắt nguồn từ dòng các điện tích.* Mọi dòng chảy đều cần thời gian. Dòng điện nhanh cỡ nào? Cách đơn giản để đo tốc độ dòng điện là tạo ra một tia lửa điện nhỏ ở đầu một dây kim loại dài và quan sát thời gian nó cần để tia lửa điện xuất hiện ở đầu kia của dây. Trong thực tế, hai tia lửa gần như đồng thời; tốc độ mà ta đo được lớn hơn tốc độ mọi vật quanh ta rất nhiều. Làm cách nào để bạn đo được tốc độ này? Và tại sao các nhà nghiên cứu khác nhau kiếm được các tốc độ rất khác nhau
Câu đố 5 s trong thí nghiệm này? Kết quả của các thí nghiệm này thường gần bằng tốc độ ánh sáng – nhưng không bao giờ lớn hơn nó.

Tia lửa điện, hồ quang điện và tia sét đều giống nhau. Chúng có phải là các dòng điện tích không? Năm 1752, các thí nghiệm được thực hiện ở Pháp, theo đề nghị của Benjamin Franklin, được công bố ở London năm 1751, chứng tỏ rằng người ta thực sự có thể lấy điện từ sấm sét nhờ một trụ kim loại dài.** Các đám mây giông có điện trường bao quanh. Những thí nghiệm ở Pháp khiến cho Franklin nổi tiếng trên thế giới; chúng cũng khởi đầu cho việc sử dụng cột thu lôi. Sau này, Franklin có một cột thu lôi dựng
Xem 6 xuyên qua mái nhà, nhưng thuộc loại khác như trong Hình 7. Thiết bị này do Andrew

* Đúng ra phong trào này vẫn còn. Ngày nay, có thêm nhiều cách tạo ra tia lửa điện hay hồ quang, tức là các tia lửa điện được duy trì. Nhiều người còn tạo ra các máy phát điện hiệu thế cao trong nhà để giải trí; hãy ghé thăm website www.kronjaeger.com/hv. Cũng có nhiều người làm việc này một cách chuyên nghiệp, được trả lương bằng tiền thuế: những người chế tạo các máy gia tốc hạt.

** Các chi tiết về cách tạo ra tia sét và cách nó truyền đi vẫn còn là chủ đề nghiên cứu. Một phần giới thiệu có trên Trang 217.



HÌNH 7 Các cột thu lôi của Franklin – một bản sao của chuông Gordon – là một trong nhiều thí nghiệm khẳng định điện tích có thể chảy.



HÌNH 8 Thiết bị đơn giản để kiểm chứng sự bảo toàn điện tích: nếu một miếng da thú đã cọ xát được chuyển từ nồi 1 sang nồi 2, điện tích lấy từ nồi 1 sẽ được chuyển sang nồi 2, như ta thấy trên 2 tĩnh điện kế (© Wolfgang Rueckner).

Gordon phát minh được gọi là *chuông điện*. Bạn có thể đoán ra nó làm gì trong phòng khách của ông khi thời tiết xấu và tại sao mọi phần của nó đều bằng kim loại không? (Đừng làm lại thí nghiệm này; mọi thiết bị nối với cột thu lôi đều nguy hiểm chết người.)

Câu đố 6 s

Tóm lại, *điện trường bắt đầu từ các vật* – miễn là chúng có tích điện. Sự tích điện có thể được tạo ra nhờ sự cọ xát và các quá trình khác. Có 2 loại điện tích, âm và dương. *Điện tích có thể chảy:* nó được gọi là *dòng điện*. Vật dẫn điện tệ nhất hiện nay là polymer; chúng được gọi là *chất cách điện* hay *điện môi*. Một điện tích đặt trên một vật cách điện vẫn ở nguyên tại chỗ. Trái lại, kim loại là chất dẫn điện tốt; một điện tích đặt trên một vật dẫn sẽ toả ra trên mặt của nó. Chất dẫn điện tốt nhất là bạc và đồng. Đây là lý do hiện nay, sau 200 năm sử dụng điện, mật độ đồng cao nhất trên thế giới là dưới mặt đất của Manhattan. Không khí bình thường cũng cách điện. Tuy nhiên, điện tích có thể chảy xuyên qua không khí nếu điện trường đủ mạnh; điều này tạo ra tia lửa điện hay khi tia lửa điện lớn thì đó là tia sét.

BẢNG 1 Tính chất của điện tích cổ điển: mật độ vô hướng.

Điện tích	Tính chất vật lý	Tên toán học	Định nghĩa
Có thể phân biệt được	tính phân biệt được	phần tử của tập hợp	Trang 284
Sắp thứ tự được	dãy	thứ tự	Quyển IV, trang 225
So sánh được	tính đo được	tính metric	Quyển IV, trang 236
Có thể thay đổi dần	tính liên tục	tính đầy đủ	Quyển V, trang 365
Cộng được	tính tích luỹ được	cộng tính	Quyển I, trang 81
Tách ra được	tính tách được	dương hay âm	
Không định hướng	vô hướng	số	Trang 290
Không thay đổi	bảo toàn	bất biến	q = const

Điện tích

Vì mọi thí nghiệm với điện tích đều có thể giải thích được bằng cách gọi 2 loại điện tích là dương và âm nên ta có thể suy ra là một số vật sẽ có nhiều/ít điện tích hơn một vật không mang điện, tức là vật *trung hoà* về điện. Như vậy điện tích chỉ chảy khi hai vật tích điện khác nhau được cho tiếp xúc với nhau. Nếu điện tích có thể chảy và tích luỹ thì ta phải có cách để đo được chúng. Điều hiển nhiên là *điện lượng* trên một vật, thường được viết tắt là q, phải được xác định thông qua ảnh hưởng của nó lên một vật, thí dụ mạt cưa, đặt trong trường. Như vậy điện tích được xác định bằng cách so sánh nó với một điện tích được chọn làm chuẩn. Đối với một vật mang điện khối lượng m được gia tốc trong một trường, điện tích q của nó được xác định theo hệ thức

$$\frac{q}{q_{\text{ref}}} = \frac{\mathrm{d}\mathbf{p}/\mathrm{d}t}{\mathrm{d}\mathbf{p}_{\text{ref}}/\mathrm{d}t}\,, \qquad (1)$$

tức là bằng cách so sánh độ biến thiên động lượng của nó với độ biến thiên động lượng của điện tích chuẩn. Như vậy điện tích xác định chuyển động của vật trong điện trường tương tự như khối lượng xác định chuyển động của vật trong trường hấp dẫn. Do đó điện tích là tính chất riêng thứ 2 của vật, sau khối lượng, mà chúng ta tìm ra được trong cuộc du hành này.

Trong thực tế, người ta đo điện tích bằng điện kế. Một vài thiết bị như vậy được trình bày trong Hình 9. Các tính chất thực nghiệm chính của điện tích được khám phá khi đo bằng các điện kế được liệt kê trong Bảng 1.

Đơn vị của điện tích, *coulomb*, được định nghĩa bằng dòng chảy qua dây dẫn kim loại, như đã được giải thích trong Phụ lục 11. Ta có thể làm như vậy vì mọi thí nghiệm đều chứng tỏ rằng

▷ Điện tích được *bảo toàn*, *chảy* và có thể *tích luỹ*.

Nói cách khác, nếu điện tích của một hệ vật lý thay đổi thì lý do luôn luôn là vì điện tích chảy vào trong/ra khỏi hệ. Ta có thể kiểm chứng điều này một cách dễ dàng bằng 2 nồi Xem 7 kim loại nối với 2 điện kế như trong Hình 8. *Như vậy điện tích hành xử giống như một lưu chất.* Do đó ta buộc lòng phải sử dụng đại lượng vô hướng q, có thể dương, bằng 0



HÌNH 9 Các loại điện kế khác nhau: một điện kế tự tạo bằng một lọ mứt, một điện kế cổ Dolezalek có độ chính xác cao (được mở ra), nang Lorenzini của cá mập và một điện kế số hiện đại. (© Harald Chmela, Klaus Jost at www.jostimages.com, Advantest).

hay âm của một vật thể vật lý để mô tả nó.

Việc mô tả điện tích bằng một đại lượng vô hướng sẽ tái lập hành trạng của điện tích trong mọi tình huống thông thường. Tuy nhiên, cũng như trường hợp của các khái niệm cổ điển mà ta gặp trước kia, một số kết quả thực nghiệm đối với điện tích trong điều kiện thông thường trong Bảng 1 hoá ra chỉ là gần đúng. Các thí nghiệm chính xác hơn đòi hỏi ta phải điều chỉnh lại khái niệm biến đổi liên tục của điện tích. Tuy vậy ta chưa gặp trường hợp nào mâu thuẫn với sự bảo toàn điện tích.

Tóm lại, *điện tích là một đại lượng vô hướng mô tả nguồn gốc của điện trường. Điện tích được bảo toàn.* Không thể tiêu huỷ hay tạo ra điện tích. Như ta đã đề cập ở trên, vật không mang điện được gọi là *trung hoà*. Các vật trung hoà cũng bị điện trường tác động. Điều này xảy ra vì vật mang điện khi mang đến gần một vật trung hoà sẽ phân cực nó. *Sự phân cực điện* là sự tách các điện tích dương và âm ra các miền khác nhau trên một vật. Vì lý do này nên vật trung hoà như tóc hay dòng nước thường bị hút về phía vật mang điện, thí dụ như lược đã bị cọ xát. Cả vật cách điện lẫn vật dẫn điện đều có thể bị phân cực, từ các phân tử đơn lẻ, vật thông thường hay nguyên cả ngôi sao.

BẢNG 2 Các giá trị điện tích trong thiên nhiên.

Sự quan trắc	Điện tích
Điện tích đo được nhỏ nhất	$1.6 \cdot 10^{-19}$ C
Điện tích cho mỗi bit trong bộ nhớ máy tính	xuống tới 10^{-15} C
Điện tích trong tụ điện nhỏ	10^{-7} C
Dòng điện tích trong tia sét trung bình	1 C tới 100 C
Điện tích chứa trong accu xe hơi đã nạp đầy	0.2 MC
Điện tích của Trái đất	−1 MC
Điện tích tách ra từ một nhà máy điện hiện đại trong 1 năm	$3 \cdot 10^{11}$ C
Điện tích tổng cộng dương (hay âm) quan sát được trong vũ trụ	$10^{60\pm1}$ C
Điện tích tổng cộng quan sát được trong vũ trụ	0 C

Cường độ điện trường

Điện tích hút và đẩy các điện tích khác. Nói cách khác, điện tích làm thay đổi động lượng; điện tích tác dụng lực lên các điện tích khác. Việc này xảy ra trên các khoảng cách lớn. Các thí nghiệm về sự bảo toàn năng lượng và động lượng chứng tỏ rằng cách mô tả tốt nhất các tương tác này tính cho đến nay là: điện tích tạo ra trường, trường tác dụng lên điện tích thứ 2.

Các thí nghiệm như trong Hình 4 chứng tỏ rằng:

▷ *Điện trường* tạo ra các đường trong không gian.

Kết quả là điện trường hành xử giống như một mũi tên nhỏ gắn liền với mỗi điểm $\boldsymbol{x}$ trong không gian. Điện trường được mô tả bằng hướng và độ lớn. Hướng địa phương của trường được cho bởi hướng địa phương của trường tuyến – tiếp tuyến của trường tuyến. Độ lớn địa phương của trường được cho bởi mật độ địa phương của trường tuyến. Hướng và độ lớn này không phụ thuộc vào quan sát viên. Tóm lại

▷ *Điện trường* $\boldsymbol{E}(\boldsymbol{x})$ là một trường *vector* .

Thực nghiệm chứng tỏ rằng nó được định nghĩa tốt nhất bằng hệ thức

$$q\boldsymbol{E}(\boldsymbol{x}) = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{p}(\boldsymbol{x})}{\mathrm{d}t} \qquad (2)$$

tính tại mỗi điểm trong không gian $\boldsymbol{x}$. Định nghĩa này của điện trường căn cứ trên cách mà nó *làm chuyển động* các điện tích. Tóm lại, điện trường là một vector

$$\boldsymbol{E}(\boldsymbol{x}) = (E_x, E_y, E_z) \qquad (3)$$

Câu đố 7 e và nó được đo bằng bội số của đơn vị N/C hay V/m.

Định nghĩa của điện trường đã giả sử rằng điện tích thử q rất nhỏ nên nó không làm nhiễu loạn điện trường E. Lúc này ta chưa nói đến chủ đề này. Đây là một nước đi quyết

BẢNG 3 Một số điện trường đã quan sát được.

Sự quan trắc	Điện trường
Điện trường cách electron 1 m trong chân không	Câu đố 9 s
Điện trường mà cá mập cảm nhận được	xuống tới 0.5 μV/m
Tiếng ồn vũ trụ	10 μV/m
Điện trường của máy phát sóng vô tuyến FM 100 W ở khoảng cách 100 km	0.5 mV/m
Điện trường trong các vật dẫn như dây đồng	0.1 V/m
Điện trường ngay dưới đường dây cao thế	0.1 tới 1 V/m
Điện trường của một antenna GSM ở khoảng cách 90 m	0.5 V/m
Điện trường trong một ngôi nhà điển hình	1 tới 10 V/m
Điện trường của một bóng đèn 100 W ở khoảng cách 1 m	50 V/m
Điện trường ở mặt đất trong khí quyển của Trái đất	100 tới 300 V/m
Điện trường trong đám mây giông	lên tới trên 100 kV/m
Điện trường cực đại trong không khí trước khi các tia lửa điện xuất hiện	1 tới 3 MV/m
Điện trường trong màng sinh học	10 MV/m
Điện trường trong các tụ điện	lên tới 1 GV/m
Điện trường trong các xung laser petawatt	10 TV/m
Điện trường trong ion U^{91+}, trong hạt nhân	1 EV/m
Điện trường thực tế cực đại trong chân không, giới hạn bởi sự sinh cặp electron	1.3 EV/m
Điện trường khả hữu cực đại trong thiên nhiên (Điện trường Planck đã hiệu chỉnh $c^4/4Ge$)	$1.9 \cdot 10^{62}$ V/m

Trang 247 liệt: ta bỏ qua Thuyết lượng tử và mọi hiệu ứng lượng tử; ta sẽ trở lại với nó sau này.

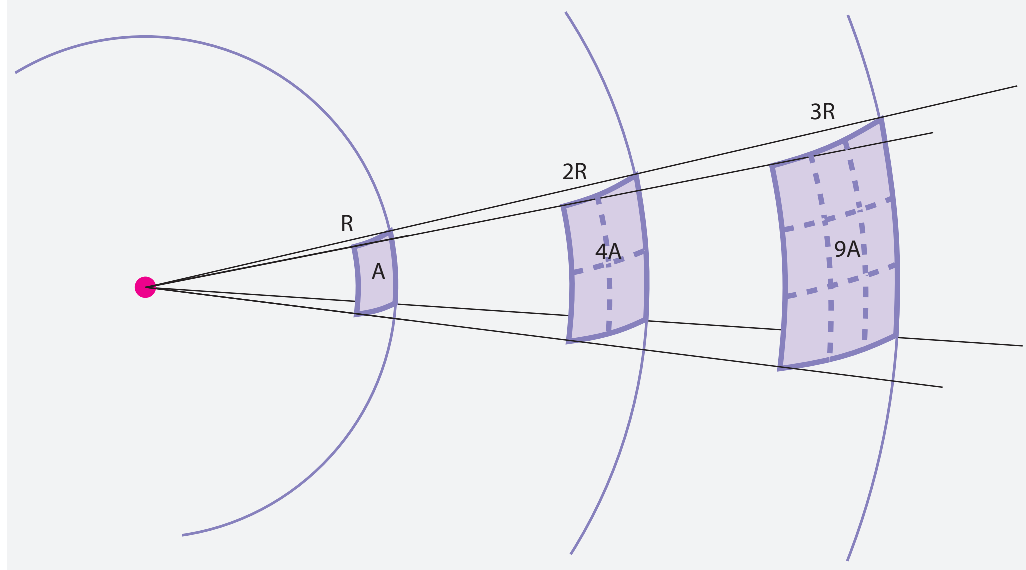
Định nghĩa của điện trường cũng giả sử rằng không thời gian phẳng và bỏ qua mọi vấn đề bắt nguồn từ độ cong của không-thời gian.

Định nghĩa điện trường vừa cho có giả sử rằng tốc độ rất nhỏ so với tốc độ ánh sáng hay không? Câu đố 8 s

Để mô tả chuyển động bắt nguồn hoàn toàn từ điện, ta cần một hệ thức để giải thích cách mà điện tích *sinh ra* điện trường. Hệ thức này đã được Charles-Augustin de Coulomb thiết lập một cách chính xác (nhưng không phải là lần đầu tiên) trong Cách mạng Pháp, tại điền trang của ông.* Ông đã biết rằng quanh một điện tích hình cầu có kích thước nhỏ bất kỳ Q *đứng yên* sẽ có một điện trường. Tại vị trí $\boldsymbol{r}$, điện trường $\boldsymbol{E}$ này được cho bởi hệ thức

$$\boldsymbol{E}(\boldsymbol{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\frac{\boldsymbol{r}}{r} \quad \text{trong đó} \quad \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9.0\,\text{GV m/C} . \qquad (4)$$

* Charles-Augustin de Coulomb (b. 1736 Angoulême, d. 1806 Paris), kỹ sư và vật lý gia, đã cung cấp một nền tảng vững chắc cho việc nghiên cứu điện học bằng các thí nghiệm tỉ mỉ về điện tích của mình.



HÌNH 10 Một cách hình dung công thức Coulomb và định luật Gauss.

Sau này ta sẽ mở rộng hệ thức cho điện tích chuyển động. Hằng số tỷ lệ kỳ dị này có tính chất phổ quát. Hằng số được định nghĩa cùng với *độ điện thẩm của không gian tự do* ε_0 bắt nguồn từ phương thức đầu tiên mang tính lịch sử dùng để định nghĩa đơn vị điện tích.* Điểm cốt yếu của công thức này là sự suy giảm của điện trường theo bình phương của khoảng cách; bạn có thể tưởng tượng được nguồn gốc của sự phụ thuộc này không?
Câu đố 10 s Một cách đơn giản để hình dung ra công thức Coulomb được minh hoạ trong Hình 10.

Hai phương trình trước cho ta viết ra được sự tương tác giữa 2 vật mang điện là

$$\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{p}_1}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}\frac{\boldsymbol{r}}{r} = -\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{p}_2}{\mathrm{d}t} , \quad (5)$$

trong đó d$\boldsymbol{p}$ là độ biến thiên động lượng và $\boldsymbol{r}$ là vector nối 2 khối tâm. Đây là biểu thức nổi tiếng của lực tương tác tĩnh điện. Nó cũng do Coulomb tìm ra. Hệ thức này chỉ đúng đối các vật mang điện có *kích thước nhỏ* hay *hình cầu*, và trên hết, chỉ đối với những vật *đứng yên* đối với nhau và đối với quan sát viên. Việc tìm hiểu các tương tác giữa các điện tích đứng yên được gọi là *Tĩnh điện học*.

Điện trường gia tốc điện tích. Kết quả là trong đời sống hằng ngày điện trường có 2 tính chất: chúng chứa năng lượng và có thể làm phân cực các vật. Năng lượng bắt nguồn từ tương tác tĩnh điện giữa các điện tích. Cường độ tương tác cũng đáng kể. Nó là nền tảng của lực trong cơ bắp của chúng ta. Lực của bắp thịt là hiệu ứng vĩ mô của hệ thức Coulomb (5). Một thí dụ khác là độ bền vật liệu của thép hay kim cương. Như ta sẽ thấy, mọi nguyên tử được liên kết với nhau bằng lực hút tĩnh điện. Để nhận thức được cường

* Các định nghĩa khác của hằng số tỷ lệ này (và các hằng số khác) mà ta có thể gặp sau này, dẫn tới *các hệ đơn vị* khác với hệ SI mà ta đang sử dụng. Hệ SI được trình bày chi tiết trong Phụ lục 11. Trong các hệ cạnh tranh trước đó, hệ đơn vị Gauss thường được sử dụng trong các tính toán lý thuyết, hệ đơn vị
Xem 8 Heaviside–Lorentz, hệ đơn vị tĩnh điện và hệ đơn vị điện từ là các hệ quan trọng nhất.

BẢNG 4 Tính chất của điện trường cổ điển: một vector (cực) tại mỗi điểm trong không gian.

Điện trường có thể	Tính chất vật lý	Tên toán học	Định nghĩa
Hút các vật	gia tốc các điện tích	tương tác	phương trình (4)
Đẩy các vật	gia tốc các điện tích	tương tác	phương trình (4)
Phân biệt được	tính phân biệt được	phần tử của 1 tập hợp	Trang 284
Biến đổi dần dần	môi trường liên tục	không gian vector thực	Quyển I, trang 81, Quyển V, trang 365
Hướng tới một nơi nào đó	hướng	không gian vector, thứ nguyên	Quyển I, trang 81
So sánh được	tính đo được	tính metric	Quyển IV, trang 236
Cộng được	cộng tính	không gian vector	Quyển I, trang 81
Có góc xác định	hướng	không gian vector Euclide	Quyển I, trang 81
Vượt qua giới hạn nào đó	vô hạn	tính không giới nội	Trang 286
Đổi hướng khi bị phản xạ	cực tính	vector chẵn lẻ âm	Trang 91
Không đổi hướng khi đảo ngược thời gian	cực tính	vector thời gian dương	Trang 91

độ của lực hút tĩnh điện, bạn hãy trả lời câu hỏi sau: lực tương tác giữa 2 hộp, mỗi hộp có 1 gram proton, đặt ở 2 cực của Trái đất là bao nhiêu? Thử đoán kết quả trước khi bạn tính ra giá trị đáng kinh ngạc này. Câu đố 11 s

Lực hút tĩnh điện như vậy mạnh hơn lực hấp dẫn rất nhiều. Tỷ số giữa 2 lực là bao nhiêu? Câu đố 12 e

Hệ thức Coulomb đối với trường bao quanh 1 điện tích có thể viết lại theo cách khác để ta có thể tổng quát hoá cho các vật không phải là hình cầu. Lấy một mặt đóng, tức là một mặt bao quanh một thể tích nào đó. Rồi tính tích phân của điện trường trên mặt A này, điện thông sẽ là điện tích Q trong mặt đó chia cho ε_0:

$$\oint_{\text{mặt đóng}A} \boldsymbol{E}\, \mathrm{d}\boldsymbol{A} = \frac{Q}{\varepsilon_0} . \qquad (6)$$

Hệ thức toán học này được gọi là *'định luật' Gauss*,* tương đương với kết quả của

* Carl-Friedrich Gauß (b. 1777 Braunschweig, d. 1855 Göttingen) cùng với Leonhard Euler, là nhà toán học vĩ đại nhất trong mọi thời đại. Nổi tiếng là một thần đồng, vì khi 19 tuổi, ông đã dựng được hình 17 cạnh đều bằng compa và thước (xem www.mathworld.wolfram.com/Heptadecagon.html). Ông tự hào về kết quả này đến nỗi ông đặt một hình vẽ của đa giác đó trên mộ bia của mình. Gauss đạt được nhiều thành quả trong Lý thuyết số, Topo, Thống kê học, Đại số, Số phức và Hình học vi phân, một phần của toán học hiện đại mang tên ông. Giữa các thành tựu, ông đã tạo ra một lý thuyết về độ cong và phát triển Hình học phi-Euclide.

Câu đố 13 s Coulomb. (Cũng nên nhớ rằng dưới dạng đơn giản hoá đã cho ở đây, nó chỉ đúng đối với các trường hợp tĩnh mà thôi.) Vì bên trong vật dẫn, điện trường bằng 0 nên hệ thức Gauss hàm ý rằng nếu 1 điện tích q được một hình cầu kim loại không tích điện bao Câu đố 14 e quanh, thì mặt ngoài của hình cầu kim loại cũng có điện tích q.

Các vật trung hoà điện có hút nhau không? Trong phép tính gần đúng đầu tiên thì Quyển V, trang 122 chúng không hút nhau. Nhưng khi câu hỏi được nghiên cứu chính xác hơn, ta sẽ thấy rằng chúng có thể hút nhau. Bạn có thể tìm ra các điều kiện để điều này xảy ra không? Câu đố 15 s Đúng ra các điều kiện này khá quan trọng, vì cơ thể của chúng ta được tạo thành từ các phân tử trung hoà được giữ với nhau theo cách này.

Bơm điện tích

Do cường độ tương tác điện từ lớn nên việc tách điện tích không phải là việc dễ dàng. Đó là lý do các hiệu ứng điện chỉ được sử dụng phổ biến trong khoảng 100 năm nay. Con người đã phải chờ đợi các thiết bị thực tiễn và hiệu quả được phát minh để tách điện tích và làm cho chúng chuyển động: để sử dụng các hiệu ứng điện, ta cần *bơm điện tích*. Một số thiết bị được trình bày trong Hình 11. Bạn có thể cho biết: pin và thiết bị khác Câu đố 16 s trong số này có phải là nguồn điện tích hay không?

Dĩ nhiên mọi bơm điện tích đều cần năng lượng. Pin trong mobile phone và các kênh ion trong tế bào sinh vật sử dụng hoá năng để làm việc này. Các pin nhiệt điện sử dụng trong đồng hồ đeo tay, tận dụng sự chênh lệch nhiệt độ giữa cổ tay và không khí để tách điện tích; pin mặt trời sử dụng ánh sáng, pin áp điện sử dụng ứng suất, dynamo hay máy phát điện Kelvin sử dụng động năng.

Điện là gì?

Thuật ngữ *điện* cũng được sử dụng làm tên của một trường vấn tin. Thường thì thuật ngữ được sử dụng để chỉ dòng điện. Tổng quát thì thuật ngữ được sử dụng để chỉ các tác dụng, chuyển động và trường của điện tích.

Đúng ra vấn đề ngữ vựng ẩn chứa một câu hỏi sâu xa: bản chất của điện tích là gì? Để giải quyết vấn đề cực khó này ta hãy bắt đầu với câu hỏi sau đây.

Ta có thể phát hiện được quán tính của điện không?

Nếu điện tích thực sự *chảy* xuyên qua kim loại, ta có thể quan sát được các hiệu ứng như trong Hình 12: điện tích sẽ rơi, có quán tính và có thể tách ra khỏi vật chất. Và người ta đã quan sát được các hiệu ứng đúng như vậy. Thí dụ như khi một thanh kim loại dài được giữ thẳng đứng ta có thể đo được một *hiệu thế* giữa đầu và cuối thanh. Nói cách khác, ta có thể đo được *trọng lượng* của điện bằng cách này. Tương tự như vậy, ta có thể Xem 9 đo được hiệu thế giữa 2 đầu 1 thanh kim loại có gia tốc. Hoặc ta có thể đo được hiệu thế giữa tâm và vành ngoài của một đĩa kim loại quay tròn. Thí nghiệm cuối cùng đúng ra

Ông cũng nghiên cứu về Điện từ học và Thiên văn học.

Gauss là một nhân vật khó tính, luôn tự nghiên cứu và không đặt ra một trường phái nào cả. Ông ít công bố công trình, vì phương châm của ông là: pauca sed matura (ít nhưng chín chắn). Kết quả là khi các toán gia khác công bố một kết quả mới, ông thường đưa ra một cuốn sổ tay trong đó ông ghi lại kết quả tương tự nhưng đã được tìm ra trước đó nhiều năm. Những quyển sổ tay này hiện nay có trên mạng, tại địa chỉ www.sub.uni-goettingen.de.



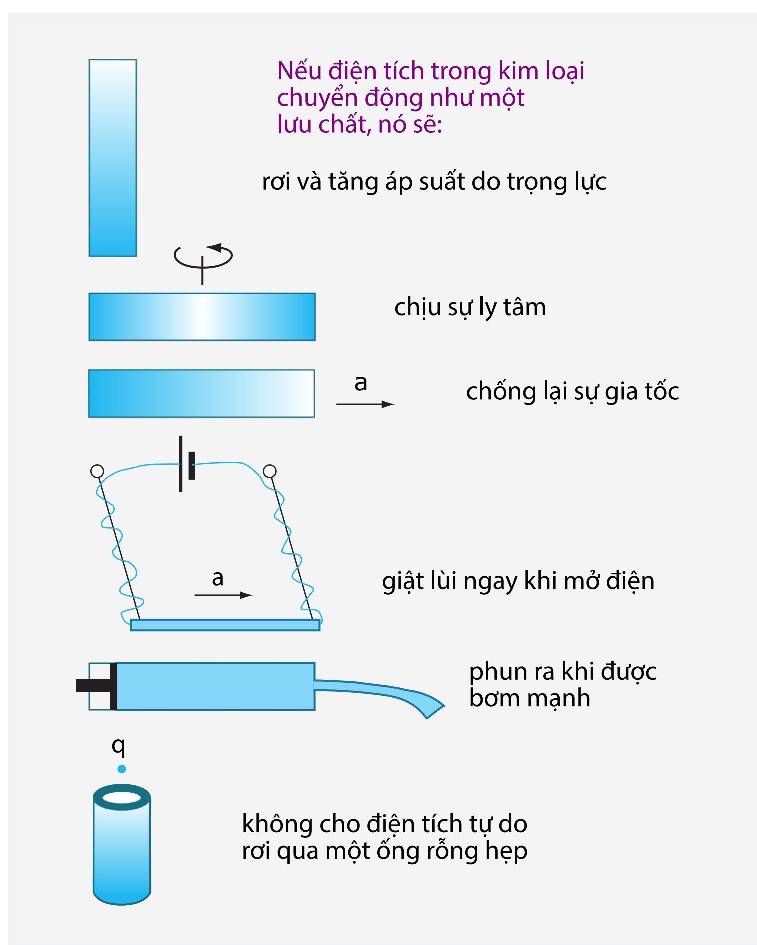
HÌNH 11 Các loại bơm điện tích khác nhau: dynamo xe đạp, máy phát điện giao phiên, máy Wimshurst, lươn điện, pin Volta, lá cây và pin mặt trời (© Wikimedia, Q-Cells).

là phương pháp đo tỷ số q/m đối với dòng điện trong kim loại với độ chính xác cao. Tỷ số đó là

$$q/m \approx -1.8(2) \cdot 10^{11}\ \mathrm{C/kg} \tag{7}$$

đối với mọi kim loại, với một sai số nhỏ ở số thập phân thứ 2. Dấu trừ bắt nguồn từ định nghĩa của điện tích. Tóm lại, điện tích trong kim loại có khối lượng mặc dù rất nhỏ.

Nếu điện tích có khối lượng, khi ta mở điện, sẽ có một *sự giật lùi*. Hiệu ứng đơn giản
Xem 10
này có thể đo được dễ dàng và khẳng định tỷ số điện tích/khối lượng đã cho. Người ta cũng quan sát được sự phát xạ của dòng điện trong không khí hay trong chân không; đúng ra mọi ống tia âm cực trong TV cũ đều sử dụng nguyên lý này để phát sinh các
Xem 11
chùm tia và tạo ra hình ảnh. Sự phát xạ tốt nhất đối với các vật kim loại có đầu nhọn. Các tia được tạo ra bằng cách này – có thể nói chúng là các hạt mang điện 'tự do' – được gọi là *tia cathode*. Trong phạm vi sai số vài phần trăm, chúng thể hiện một tỷ số điện tích/khối lượng giống như biểu thức (7). Sự tương đương này chứng tỏ điện tích chuyển



HÌNH 12 Các hệ quả của dòng điện như đã bàn luận trong sách.

động gần như tự do trong kim loại cũng như trong không khí; đây là lý do kim loại là chất dẫn điện tốt.

Nếu điện tích *rơi* vào trong ống kim loại đặt thẳng đứng ta có một kết quả đáng ngạc nhiên là tia cathode không thể đi xuyên qua một ống kim loại thẳng đứng như vậy. Như ta sẽ thấy sau này, tia cathode bao gồm các electron tự do. Tên 'electron' bắt nguồn từ George Stoney. Electron là các điện tích nhỏ nhất và nhẹ nhất chuyển động trong kim loại; chúng thường – nhưng không luôn luôn – là 'nguyên tử' của điện. Đặc biệt, electron điều khiển dòng điện trong kim loại. Điện tích của electron nhỏ, 0.16 aC, nên dòng điện tích điển hình trong đời sống thông thường gồm một số khổng lồ các electron; kết quả là điện tích hành xử tương tự như một dòng lưu chất liên tục. Hạt này đã được Johann Emil Wiechert (b. 1861 Tilsit, d. 1928 Göttingen) năm 1897, và một cách độc lập, 3 tháng sau đó là Joseph John Thomson (b. 1856 Cheetham Hill, d. 1940 Cambridge), khám phá và giới thiệu.

Tia Cathode không thể rơi xuyên qua một ống kim loại thẳng đứng vì gia tốc sinh ra trong ống kim loại do điện trường của điện tích dịch chuyển và gia tốc trọng trường bù trừ nhau. Như vậy electron không thể rơi xuyên qua một ống nhỏ dài. Đây không phải

là điện trong kim loại không hành xử giống như lưu chất. Thật ra người ta đã thực hiện thí nghiệm này và gia tốc rơi tự do đối với electron giảm đi 90 %. Bạn có thể tìm ra lý do tại sao người ta không đạt được giá trị lý tưởng 100 % không?

Xem 12
Câu đố 17 s

Các thí nghiệm chính xác với các điện tích bắn ra từ kim loại chứng tỏ rằng chúng có tỷ số điện tích/khối lượng là

$$q/m = -1.758\,820\,150(44) \cdot 10^{11}\ \mathrm{C/kg} \quad (8)$$

Các hạt có tính chất này được gọi là *electron*. Các loại điện tích khác, với tỷ số q/m khác cũng có trong thiên nhiên. Thí dụ như *ion* được tìm thấy trong pin và lá cây, *muon* được tìm thấy trong tia vũ trụ và *meson* được sản xuất trong các máy gia tốc hạt. Ta sẽ gặp các loại hạt này trong phần sau của cuộc hành trình.

Vì dòng điện hành xử như chất lỏng nên ta có thể đo tốc độ của nó. Người đầu tiên làm được việc đó là Charles Wheatstone vào năm 1834. Trong một thí nghiệm nổi tiếng, ông sử dụng một dây dẫn dài 1/4 dặm để tạo ra 3 tia lửa điện: một ở đầu, một ở giữa và một ở cuối. Ông đã đặt một gương chuyển động nhanh trên một đồng hồ cơ học. Bằng cách ghi lại số ảnh của 3 tia lửa điện dịch chuyển đối với nhau trên một màn ảnh, ông đo được tốc độ là 0.45 Gm/s, mặc dù sai số đo khá lớn. Sau đó, các phép đo chính xác hơn chứng tỏ rằng tốc độ này luôn luôn nhỏ hơn 0.3 Gm/s và nó phụ thuộc vào kim loại và loại cách điện của dây. Giá trị lớn của tốc độ thuyết phục được nhiều người sử dụng điện trong việc truyền các thông điệp. Đúng ra các thí nghiệm này đo được *tốc độ tín hiệu* của sóng điện từ trên dây kim loại. Tốc độ thực sự của điện tích nhỏ hơn nhiều như ta sẽ thấy sau đây. Một phiên bản mới của thí nghiệm tốc độ tín hiệu, đối với những người yêu thích máy tính, sử dụng lệnh 'ping' trong hệ điều hành UNIX. Lệnh 'ping' đo thời gian của một tín hiệu từ máy tính này tới máy tính khác rồi quay lại. Nếu ta biết chiều dài dây cáp giữa 2 máy, ta có thể suy ra tốc độ tín hiệu. Các bạn hãy thử làm xem.

Trang 248
Xem 13
Câu đố 18 e

Tốc độ của điện đối với nhiều người thì *quá chậm*. Con chip của máy tính có thể nhanh hơn nếu nó mạnh hơn. Và máy tính được kết nối với thị trường chứng khoán được đặt rất gần với các sở giao dịch chứng khoán, vì độ lợi về thời gian do khoảng cách truyền thông ngắn (bao gồm độ trễ trong con chip chuyển mạch) rất quan trọng trong việc kiếm được lợi nhuận cao trong giao dịch kinh doanh.

Xem 14

Tóm lại, thí nghiệm chứng tỏ rằng *mọi điện tích đều có khối lượng*. Và giống các vật có khối lượng khác, *điện tích chuyển động chậm hơn ánh sáng*. Điện tích là một tính chất của vật chất; hình ảnh và ánh sáng không có điện tích.

Cảm nhận điện trường

Tại sao điện nguy hiểm đối với người? Lý do chính là vì cơ thể người được điều khiển bằng nhiều 'dây điện'. Kết quả là điện từ bên ngoài áp lên cơ thể người giao thoa với tín hiệu bên trong. Người ta đã biết điều này từ năm 1789. Trong năm đó, bác sĩ Luigi Galvani (b. 1737 Bologna, d. 1798 Bologna) khám phá ra rằng dòng điện làm cho cơ của động vật đã chết co lại. Thí nghiệm đầu tiên nổi tiếng này đã dùng chân ếch: khi tiếp xúc với điện thì chúng co giật mạnh. Những nghiên cứu sau đó khẳng định rằng mọi dây thần kinh đều sử dụng các tín hiệu điện. Người ta có thể dùng điện để làm cho các thi hài chuyển động. Dây thần kinh là các 'dây điều khiển' của động vật. Ta sẽ tìm hiểu kỹ về dây thần kinh dưới đây.

Trang 51

BẢNG 5 Một số cường độ dòng điện đã quan sát được.

Sự quan trắc	Dòng điện
Dòng điện nhỏ nhất đã đo được (đối với một electron chuyển động)	3 aA
Tín hiệu thần kinh của người	20 µA
Dòng điện gây chết người	nhỏ khoảng 20 mA, điển hình là 100 mA
Dòng điện trong động cơ tàu điện	600 A
Dòng điện trong 1 tia sét	10 tới 100 kA
Dòng điện lớn nhất do con người tạo ra	20 MA
Dòng điện trong Trái đất, nguồn gốc của địa từ trường	*c.* 100 MA
Dòng điện cực đại trong thiên nhiên (dòng điện Planck có hiệu chỉnh $e\sqrt{c^5/4\hbar G}$)	1.5 YA

BẢNG 6 Một số cảm biến dành cho dòng điện.

Đối tượng đo	Cảm biến	Phạm vi đo
Điện kế quy ước 20 euro	độ giảm thế trên điện trở	lên tới *c.* 3 A
Ngưỡng cảm giác	dây thần kinh người	cảm nhận từ 0.1 mA trở lên
Sự co cơ thuận nghịch, không gây ra nguy hiểm	dây thần kinh người	lên tới 10 mA trong thời gian dài, hay lên tới 200 mA trong ít nhất 10 ms
Sự thay đổi nhịp tim	tim người	tim ngừng đập khi có dòng khoảng 20 mA chạy qua nó
Sự co cơ mạnh gây ra một số tổn thương	dây thần kinh người	lên tới 100 mA trong thời gian dài, hay lên tới 1 A trong nhiều nhất 200 ms
Bốc khói, phỏng nặng	da thịt	từ 1 A
Lửa	cây cối	từ 1 kA
Lươn điện *Electrophorus electricus*	có sẵn	lên tới 1 A và 500 V

Được điều khiển bằng điện, mọi động vật hữu nhũ đều có thể cảm nhận được các điện trường mạnh. Con người có thể cảm nhận các điện trường nhỏ đến 10 kV/m, khi mà tóc dựng đứng lên. Trái lại, nhiều loài vật có thể cảm nhận điện (và từ) trường yếu hơn nhiều. Khả năng này được gọi là *điện cảm thụ*. Cá mập có thể phát hiện điện trường nhỏ tới 0.5 µV/m bằng những cảm biến đặc biệt, *nang Lorenzini*, ở quanh miệng của chúng.
Trang 24 Cá mập dùng chúng để phát hiện điện trường của con mồi di chuyển trong nước; điều này cho chúng khả năng bắt mồi trong bóng tối.

Bắp thịt của các con mồi tạo ra điện trường. Các động vật dưới nước khác nhau đã phát triển các cảm biến điện trường để phát hiện con mồi trong nước đục ngầu vì bùn. Giống như kỳ nhông, thú mỏ vịt (*Ornithorhyncus anatinus*) cũng có thể cảm nhận được điện trường; nhưng độ nhạy của chúng chỉ tới cỡ mV/m. Đúng ra chỉ có vài động vật

hữu nhũ đã biết có khả năng cảm nhận được điện trường nhỏ: ngoài thú mỏ vịt thì thú lông nhím cũng có thể cảm nhận điện trường bằng mũi của chúng. Năm 2011, người ta đã khám phá ra cá heo Guiana, *Sotalia guianensis*, có thể cảm nhận điện trường nhỏ khoảng 0.5 mV/m bằng các cơ quan trên mũi của chúng. Người ta đã giả định rằng các loại cá heo khác cũng có khả năng như vậy.

Nhiều loại cá, *cá điện mạnh/yếu*, có thể *tạo ra* điện trường để phát hiện con mồi tốt hơn.* Cách này cũng thường được cá mũi voi (*Gnathonemus petersii*) sử dụng. Độ nhạy Xem 15 dưới 2 mV/m. Đúng ra nhiều loại cá điện sử dụng trường lưỡng cực điện *thay đổi theo thời gian* để giao tiếp với nhau! Chúng nói chuyện với loài cá khác, cá khác phái, nhận Xem 16 dạng và liên lạc với nhau để tỏ tình, gây hấn, dỗ dành và đe doạ. Tần số mà chúng sử dụng nằm trong khoảng vài trăm hay 200 Hz và trường lưỡng cực được tạo ra giữa phần trước và sau của cơ thể.

Động vật điện đáng sợ – và xấu xí nhất – là lươn điện, *Electrophorus electricus*. Nó có thể dài đến 2 m và nặng tới 20 kg. Vì điện trường trong không khí mạnh hơn trong nước nên khi có con mồi bơi vào lãnh địa của nó, lươn thường nhảy ra khỏi nước lao vào con mồi, để có thể dễ dàng hạ thủ nó bằng cơ quan tạo ra dòng điện cao thế 500 V, 1 A được trang bị sẵn. Nó có thể hạ được các con ngựa bằng cách này.

Không có động vật trên đất liền nào có cảm biến đặc biệt đối với điện trường yếu vì điện trường này trong không khí sẽ bị dập tắt ngay khi gặp các cơ thể chứa đầy nước.** Thật vậy, khí quyển bình thường có một điện trường yếu, thẳng đứng khoảng 100 V/m; trong cơ thể người điện trường này bị hạ xuống còn cỡ µV/m, nhỏ hơn điện trường bên trong động vật rất nhiều. Nói cách khác, con người không có cảm biến cho điện trường yếu vì là động vật trên cạn. (Con người có khả năng cảm nhận điện trường trong nước Câu đố 19 r không? Hình như không có ai biết.) Tuy vậy, có vài ngoại lệ. Một số người già có thể cảm nhận được các cơn bão đang đến gần nhờ khớp xương của họ. Điều này bắt nguồn từ Trang 109 sự trùng hợp giữa tần số của trường điện từ do mây giông phát ra – khoảng 100 kHz – và tần số cộng hưởng của màng tế bào thần kinh.

Nước trong cơ thể khiến cho điện trường trong không khí không gây nguy hiểm cho người. Nhưng khi người nhận thức được điện trường như trong trường hợp hiệu thế cao làm tóc dựng đứng thì có tiềm ẩn mối hiểm nguy.

Trở kháng cao của không khí khiến cho trong trường hợp điện từ trường thay đổi theo thời gian thì con người dễ bị ảnh hưởng bởi từ trường hơn là điện trường.

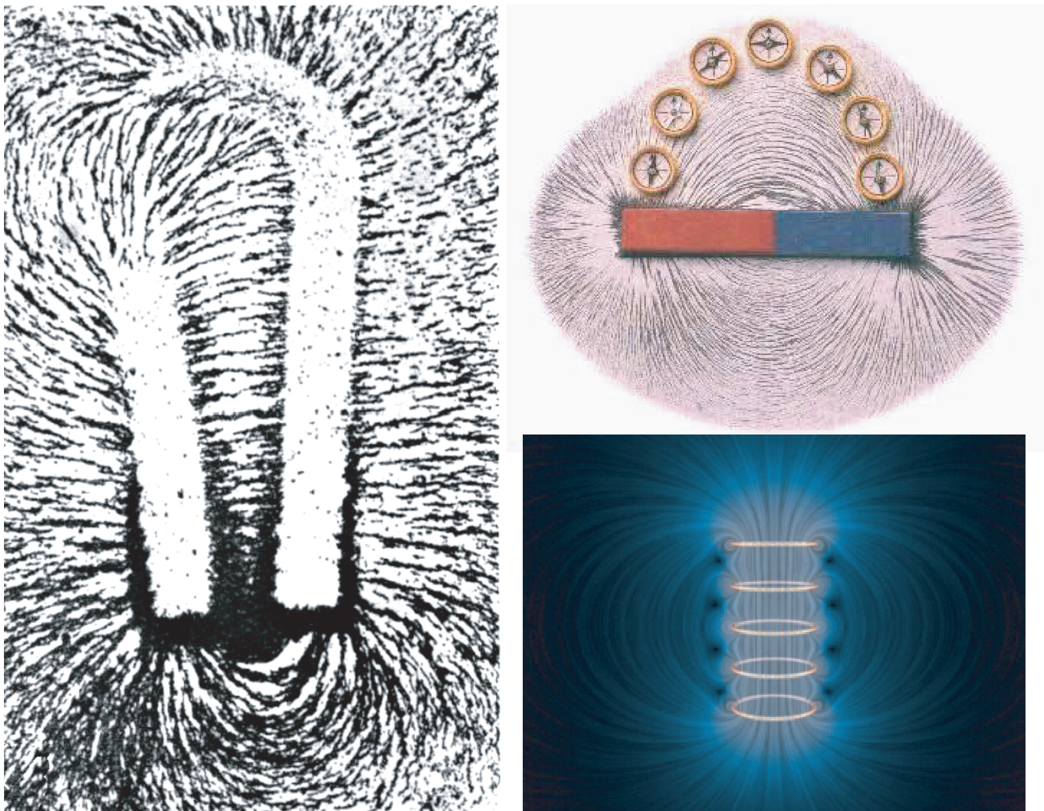
Thực vật cũng cảm nhận và tạo ra điện trường. Trong các cây lớn, tín hiệu điện được trao đổi để thông báo về các tác hại của côn trùng. Năm 2016, sau cùng các nhà nghiên cứu đã khám phá ra cơ chế phân tử mà nhờ đó các tế bào thực vật cảm nhận được điện trường. Từ lâu người ta đã biết rằng hoa thường tích điện âm. Năm 2013, người ta đã chứng tỏ rằng ong có thể cảm nhận các trường này. Ong thường tích điện dương do các hiệu ứng khí động học. Điện tích âm của cây làm cho hạt phấn dính vào ong chặt hơn.



HÌNH 13 Các loại nam châm khác nhau và các nam châm trong thực tế: kim la bàn, nam châm hình móng ngựa, hai thiên hà, cơ quan có từ tính của chim bồ câu, Trái đất, nam châm chuyển hàng và Mặt trời. (© Wikimedia, Shambhavi, Anthony Ayiomamitis, NASA).

BẢNG 7 Sự tìm kiếm đơn cực từ, tức là từ tích, trong hơn 140 thí nghiệm.

Tìm kiếm	Từ tích
Từ tích nhỏ nhất theo Thuyết lượng tử	$g = \frac{h}{e} = \frac{eZ_0}{2\alpha} = 4.1$ pWb
Tìm kiếm trong khoáng chất, từ núi cao tới biển sâu	không có, chỉ có lưỡng cực Xem 17
Tìm kiếm trong thiên thạch và khoáng chất trên Mặt trăng	không có, chỉ có lưỡng cực Xem 17
Tìm kiếm trong tia vũ trụ	không có (một lần báo động sai trong thập niên 1970), chỉ có lưỡng cực Xem 17
Tìm kiếm bằng máy gia tốc hạt	không có, chỉ có lưỡng cực Xem 17



HÌNH 14 Hiển thị từ trường quanh các nam châm và cuộn dây – bằng vụn sắt, bằng kim la bàn và vụn sắt, bằng đồ hoạ máy tính (© Wikimedia, MIT).

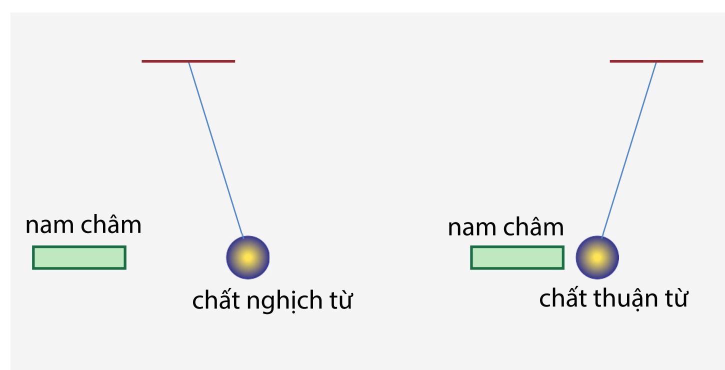
BẢNG 8 Một số từ trường đã quan sát được .

Sự quan trắc	Từ trường
Từ trường đo được nhỏ nhất (thí dụ như trường của cộng hưởng Schumann)	1 fT
Từ trường của dòng điện não	0.1 pT tới 3 pT
Từ trường của hoạt động cơ đơn	1 pT
Từ trường liên thiên hà	1 pT tới 10 pT
Từ trường trong ngực của dòng điện tim	100 pT
Từ trường của Ngân hà	0.5 nT
Từ trường của gió Mặt trời	0.2 tới 80 nT
Từ trường ngay dưới dây điện cao thế	0.1 tới 1 μT
Từ trường Trái đất	20 tới 70 μT
Từ trường trong nhà có điện	0.1 tới 100 μT
Từ trường gần mobile phone	100 μT
Từ trường ảnh hưởng tới chất lượng hình ảnh trong bóng tối	100 μT
Từ trường gần nam châm sắt	100 mT
Vết đen Mặt trời	1 T
Từ trường gần nam châm vĩnh cửu công nghệ cao	tối đa 1.3 T
Từ trường tạo ra cảm giác lạnh trong người	5 T hay lớn hơn
Từ trường trong máy gia tốc hạt	10 T
Tĩnh từ trường cực đại của cuộn dây siêu dẫn	22 T
Tĩnh từ trường lớn nhất trong phòng thí nghiệm, của nam châm lai	45 T
Từ trường *mạch động* lớn nhất mà chưa phá huỷ cuộn dây	76 T
Từ trường mạch động, kéo dài khoảng 1 μs, của cuộn dây nổ nén	1000 T
Từ trường của sao lùn trắng	10^4 T
Từ trường trong xung laser petawatt	30 kT
Từ trường của sao neutron	từ 10^6 T tới 10^{11} T
Từ trường tới hạn lượng tử	4.4 GT
Từ trường lớn nhất đã đo được, trên sao từ và Repeater gamma mềm SGR-1806-20	0.8 tới $1 \cdot 10^{11}$ T
Từ trường ước tính gần hạt nhân nguyên tử	1 TT
Từ trường khả hữu cực đại trong thiên nhiên (Từ trường Planck có hiệu chỉnh $c^3/4Ge$)	$6.3 \cdot 10^{53}$ T

Nam châm và từ chất

Việc nghiên cứu các hiện tượng từ đã được tiến hành khắp thế giới, độc lập với việc nghiên cứu về điện. Đến cuối thế kỷ 12, la bàn được sử dụng ở châu Âu. Vào thời đó, vẫn

* Mãi đến năm 2000 mới có công nghệ ứng dụng các hiệu ứng như vậy. Ngày nay, cảm ứng túi khí trong xe hơi thường sử dụng điện trường để cảm nhận xem người ngồi trên ghế là người lớn hay trẻ em để thay đổi phương thức hoạt động của túi khí khi có tai nạn xảy ra.
** Mặc dù có vài con vật trên cạn hay bơi dưới nước có các cảm biến điện trường này.



HÌNH 15 Tính chất của 2 loại từ chất cơ bản (được kiểm tra trong một trường không thuần nhất): tính nghịch từ và tính thuận từ.

có các cuộc tranh luận sôi nổi về việc nó chỉ về hướng Bắc hay Nam. Sau đó, năm 1269, kỹ sư quân sự Pierre de Maricourt (b. 1219 Maricourt, d. 1292 không rõ) công bố nghiên cứu của ông về từ chất. Ông nhận thấy rằng mọi nam châm đều có *2* điểm có độ từ hoá mạnh nhất và ông gọi chúng là các *cực*. Ông cũng nhận thấy ngay cả khi ta cắt đôi nam châm thì 2 mảnh mới luôn luôn có 2 cực: khi nó được để cho quay tự do thì một đầu sẽ chỉ về hướng Bắc và một đầu sẽ chỉ về hướng Nam.

Xem 18

▷ Mọi nam châm đều có 2 cực.

Hai cực này được gọi là *cực bắc* và *cực nam*. Maricourt cũng nhận thấy rằng

▷ Cực cùng tên thì đẩy nhau và khác tên thì hút nhau.

Kết quả là từ cực bắc của Trái đất là cực gần với Nam cực và ngược lại.

Nam châm có từ trường bao quanh. Từ trường giống như điện trường, có thể được biểu diễn bằng các trường tuyến. Hình 14 cho ta thấy một số cách để làm việc này. Ta cũng nói ngay rằng điểm khác nhau chủ yếu giữa từ trường tuyến và điện trường tuyến là: từ trường tuyến không có bắt đầu và kết thúc trong khi điện trường tuyến thì có. (Tuy nhiên từ trường tuyến thường không đóng; điều này chỉ xảy ra trong những trường hợp rất đặc biệt). Hướng của trường tuyến là hướng của từ trường và mật độ trường tuyến biểu diễn cường độ của trường.

Nhiều hệ trong thiên nhiên là nam châm như ta thấy trong Hình 13. Sự hiện hữu của 2 từ cực đúng với mọi nam châm trong thiên nhiên: phân tử, nguyên tử và hạt sơ cấp đều có 2 cực hay không có từ tính.

▷ Không có đơn cực từ.

Từ trường tuyến có thể bắt đầu và kết thúc trên đơn cực từ – nếu có. Mặc dù hứa hẹn đem lại nhiều danh vọng vĩnh cửu, đơn cực từ vẫn chưa được tìm thấy. Việc tìm kiếm được tổng kết trong Bảng 7.

Nam châm có một tính chất quan trọng thứ 2 được trình bày trong Hình 15: nam châm, thông qua từ trường của chúng, biến đổi vật liệu không từ tính thành từ chất.

BẢNG 9 Tính chất từ của của vật liệu – đối với tĩnh trường ở nhiệt độ phòng.

Từ chất	Độ từ thẩm tương đối μ_r
Chất nghịch từ $\mu_r < 1$, bị nam châm đẩy ra	
Chất siêu dẫn loại I	0
Graphite nhiệt phân định hướng cao	0.999 55
Bismuth	0.999 83
Graphite	0.999 84
Vàng	0.999 966
Đồng	0.999 9936
Nước	0.999 9912
Động/thực vật thông thường	giống như nước
Chất thuận từ $\mu_r > 1$, bị nam châm hút	
Không khí, oxygen	1.000 0019
Hạt sinh từ trong sinh vật	1.000 006
Nhôm	1.000 022
Platinum	1.000 26
Chất thiết từ $\mu_r \gg 1$, có thể tạo ra nam châm	
SmCo	*c.* 1.04
NdFeB	*c.* 1.15
Cobalt	80 tới 200
Nickel	100
Sắt	300 tới 10 000
Permalloy	*c.* 8 000
Ferrite	lên tới 15 000
Kim loại μ	lên tới 140 000
Kim loại vô định hình	lên tới 500 000

Như vậy có *sự phân cực từ*, tương tự như sự phân cực điện. Độ phân cực phụ thuộc vào vật liệu; một số giá trị được cho trong Bảng 9.

— *Chất nghịch từ*, bị nam châm *đẩy ra* mặc dù lực đẩy có yếu.
— *Chất thuận từ*, bị nam châm *hút vào*.
— Một số chất quan trọng, *chất thiết từ*, như thép, *vẫn còn* độ phân cực từ cảm ứng: chúng bị từ hoá vĩnh viễn. Điều này xảy ra khi nguyên tử trong vật liệu xếp thẳng hàng với một nam châm bên ngoài. Chất thiết từ được sử dụng để sản xuất *nam châm* vĩnh cửu – tức là đá từ tính nhân tạo.

Từ chất rất quan trọng đối với việc sản xuất dòng điện công nghiệp và nhiều thiết bị sử dụng điện.

BẢNG 10 Tính cách điện của vật liệu – đối với tĩnh điện trường ở nhiệt độ phòng.

Vật liệu	Độ điện thẩm tương đối ε_r
Điện môi	
Chân không	1
Không khí	1.0006
Teflon	2.1
Graphite	10 to 15
Silic dioxide	3.9
Silic	11.7
Methanol	30
Nước	80.1
Titanium dioxide	86-173
Chất thuận điện	
Strontium titanate (perovskite)	310
Barium strontium titanate (perovskite)	500
Chất thiết điện $\varepsilon_r \gg 1$, có thể tạo ra điện châm	
Lithium niobate (dưới 1430 K)	...
Barium titanate	1 250 tới 10 000
Polymer thiết điện	lên tới 100 000
Calcium đồng titanate	trên 250 000

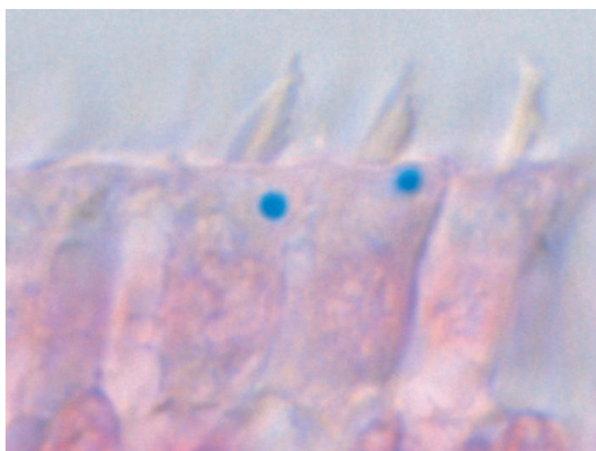
Ghi chú: giá trị độ điện thẩm phụ thuộc vào tần số của trường tác dụng và nhiệt độ. Các giá trị đã cho ở đây chỉ trong trường hợp tĩnh điện trường ở nhiệt độ phòng. Giá trị khi tần số cao hơn hay ở nhiệt độ khác cho thấy có nhiều khác biệt. Trang 69

Động vật cảm nhận từ trường như thế nào?

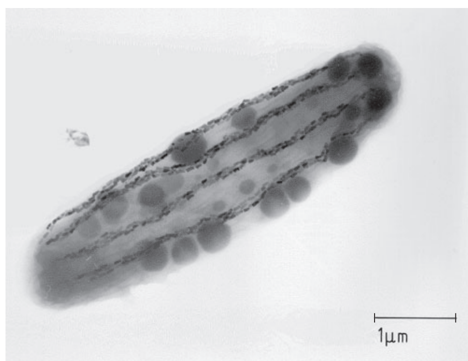
> Một người ngốc nghếch có thể hỏi nhiều câu hỏi hơn số lượng mà bảy nhà thông thái có thể trả lời.
>
> Cổ nhân

Như ta đã biết ong mật, cá mập, bồ câu, sếu đồi cát, một số loài chim khác, cá hồi, rùa biển, cá heo và một số loài vi khuẩn có thể cảm nhận được từ trường. Ta đang nói về khả năng *từ cảm thụ*. Mọi sinh vật trên đều sử dụng khả năng này để định hướng. Phương pháp thăm dò thông dụng nhất là sử dụng các hạt từ nhỏ trong tế bào; tế bào cảm nhận cách chuyển động của các nam châm nhỏ có sẵn này trong từ trường. Các nam châm này rất bé, kích thước khoảng 50 nm. Chúng dẫn hướng sinh vật chuyển động theo từ trường của Trái đất. Đối với các động vật cao cấp sự biến đổi của từ trường Trái đất, từ 20 tới 70 µT, sẽ tạo ra một quang cảnh tương tự quang cảnh mà người nhìn thấy. Chúng sẽ ghi nhớ nó và sử dụng nó trong việc du hành. Xem 19

Đúng ra các loài chim di trú như sếu (*Grus canadensis*) hình như có *2* cách cảm nhận



HÌNH 16 Các tế bào được nhuộm màu trong tai trong của bồ câu; hoá chất được sử dụng cho các hạt sắt màu xanh lam. Các hạt có từ tính, mỗi tế bào có một hạt, nằm ngay dưới lớp lông (© Institute of Molecular Pathology, Vienna).



HÌNH 17 Vi khuẩn magnetotactic Magnetobacterium bavaricum cùng với các từ thể của chúng (© Marianne Hanzlik).

từ trường. Trước tiên, chúng có những tinh thể sắt nhỏ nằm trong tế bào thần kinh cung cấp cho chúng một bản đồ từ được sử dụng cho việc du hành trong một phạm vi nhỏ. Trong một thời gian dài người ta nghĩ rằng các tế bào thần kinh này nằm dưới da trên mỏ. Trong những năm gần đây, hoá ra 'sự kiện' thường được trích dẫn này là một sai lầm tập thể; các hạt cảm biến từ thực sự có lẽ nằm trong tế bào thần kinh trong tai chim, Xem 20 ngay dưới lớp lông, như ta thấy trong Hình 16. Cảm nhận từ thứ 2 của chim di trú là một la bàn khuynh độ giúp cho chúng biết góc giữa từ trường tuyến và phương thẳng đứng. Hệ thống này dựa trên các phân tử protein nhạy từ, được gọi là *cryptochrome*. Bộ phận này nằm trong mắt và dựa trên ánh sáng màu xanh. Người ta vẫn chưa hiểu rõ về Xem 21 cách cảm nhận thứ 2 mà chim sử dụng để định hướng trong khi bay này.

Con người có cảm nhận được từ trường không? Đến nay vẫn chưa có câu trả lời xác định. Trong não người có các vi tinh thể từ nhưng người có cảm nhận được từ trường Câu đố 20 r không thì ta không rõ. Có thể bạn sẽ nghĩ ra cách kiểm tra khả năng này chăng?

Trái lại, con người lại có thể cảm nhận được các từ trường dao động hay mạch động. Có một bằng chứng chính xác là một từ trường 0.2 T dao động với tần số 170 kHz làm tê các ngón tay trong vài ngày. Người ta cũng cho là tác dụng của trường mạch động có ích cho sức khoẻ nhưng điều này không đáng tin cho lắm; tuy nhiên từ trường dao động có tác dụng tích cực đến việc chữa trị các chỗ xương gãy.

Từ và điện

Từ và điện có liên quan với nhau không? Đầu thế kỷ 19, François Arago* đã phát hiện là chúng có liên quan. Ông đã khảo sát một con tàu sống sót sau một cơn bão giông khủng khiếp. Vào thời đó, tàu thường làm bằng gỗ. Tàu này đã bị sét đánh; kết quả là cần có một la bàn mới. Như vậy tia sét có khả năng khử từ la bàn. Arago đã biết tia sét là một hiện tượng điện. Ông kết luận rằng từ và điện phải có mối liên hệ với nhau.

Tóm lại, từ phải gắn liền với *chuyển động* của điện tích. Nếu từ có liên hệ với chuyển động, ta có thể sử dụng từ và điện để làm cho vật chất chuyển động.

Người ta có thể tạo ra một động cơ như thế nào?

> “Cộng sản là quyền lực của hội đồng địa phương cộng với sự điện khí hoá trên toàn lãnh thổ.”
>
> Lenin.**

Nguyên do của phát biểu trên là 2 khám phá. Một của Hans Christian Oersted năm 1820*** và một của Michael Faraday năm 1831.**** Các hệ quả của các thí nghiệm này đã làm thế giới thay đổi hoàn toàn trong thời gian ngắn hơn một thế kỷ.

Vào ngày 21/07/1821, Hans Christian Oersted đã công bố một tờ rơi, bằng tiếng Latin, làm chấn động châu Âu. Oersted đã tìm ra – trong một bài giảng cho sinh viên có thí nghiệm chứng minh – là khi một dòng điện đi qua 1 dây dẫn sẽ làm cho một nam châm cạnh đó chuyển động. Nói cách khác, ông đã nhận thấy rằng

▷ Dòng điện có thể *làm chuyển động* các vật thể.

Từ tờ rơi của Oersted, mọi người châu Âu với một chút tài khéo đều bắt đầu các thí nghiệm về điện. Các thí nghiệm sau đó chứng tỏ rằng *hai* dây dẫn có dòng điện chạy qua sẽ hút/đẩy nhau tuỳ theo hai dòng điện song song hay đối song. Các thí nghiệm còn chứng tỏ rằng

▷ Dây dẫn có dòng điện chạy qua hành xử giống các nam châm.

Thật ra, điều ngược lại cũng đúng: nếu ta tưởng tượng là các dòng điện tí hon chuyển

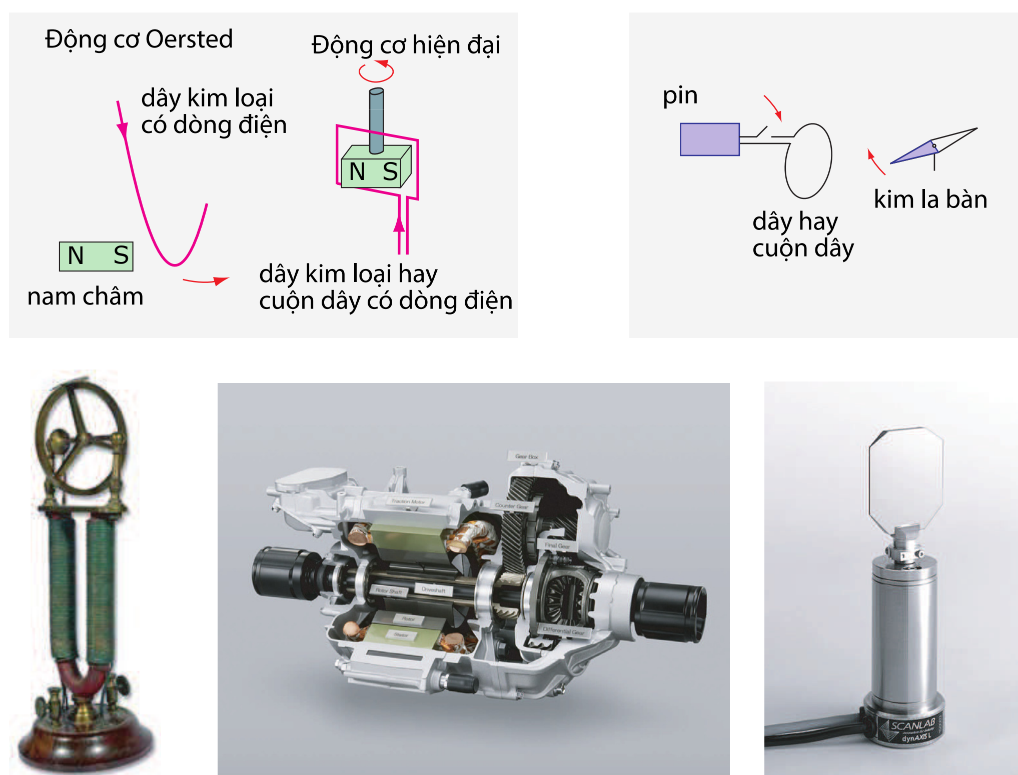
---

* François Arago (b. 1786 Estagel, d. 1853 Paris) vật lý gia và chính trị gia; ông là bạn của Alexander von Humboldt.

** Lenin (b. 1870 Simbirsk, d. 1924 Gorki), người sáng lập Liên xô năm 1920 nói ra điều này như là tâm điểm của kế hoạch phát triển quốc gia. Ở Nga, hội đồng địa phương lúc đó được gọi là soviet.

*** Hans Christian Oersted (b. 1777 Rudkøbing, d. 1851 Copenhagen) giáo sư vật lý, sáng lập ngôi trường sau này trở thành Đại học kỹ thuật Denmark.

**** Michael Faraday (b. 1791 Newington Butts, d. 1867 London) sinh ra trong một gia đình bình dị, không được đi học, sùng đạo và chất phác. Lúc thiếu thời ông đã là phụ tá cho hoá học gia nổi tiếng nhất thời đó là Humphry Davy (b. 1778 Penzance, d. 1829 Geneva). Faraday không được học toán nhưng đã trở thành một vật lý gia có tầm ảnh hưởng lớn và sau này ông còn trở thành một thành viên của Hội Hoàng gia. Là một người khiêm tốn, ông khước từ mọi vinh dự khác. Ông nghiên cứu các vấn đề hoá học, cấu trúc nguyên tử của vật chất, và trên hết, ông đã đưa ra ý tưởng (từ) trường và trường tuyến. Ông đã sử dụng trường để mô tả mọi khám phá thực nghiệm đa dạng của mình về hiện tượng điện từ, như hiệu ứng Faraday. Sau này trường được Maxwell, người duy nhất ở Anh vào thời đó chấp nhận khái niệm trường của Faraday, mô tả bằng toán học.



HÌNH 18 Một động cơ điện kiểu cũ và kiểu mới , một điện kế gương quay được sử dụng để điều hướng chùm laser. Các kích thước gần đúng là 20 cm, 50 cm và 15 cm (© Wikimedia, Honda, Wikimedia).

động theo các vòng tròn trong nam châm thì ta sẽ có được một sự mô tả thống nhất về các từ trường trong thiên nhiên. Nói cách khác, Oersted đã tìm thấy bằng chứng xác định điện có thể biến thành từ.

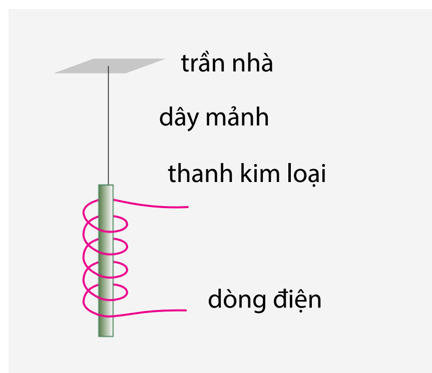
Sau đó ít lâu, Ampère* nhận thấy rằng *cuộn dây* làm tăng các tác dụng này lên rất nhiều so với dây dẫn.

▷ Cuộn dây hành xử như các nam châm nhỏ.

Đặc biệt, cuộn dây có dòng điện, giống như nam châm, luôn luôn có 2 cực, thường gọi

* André-Marie Ampère (b. 1775 Lyon, d. 1836 Marseille), vật lý gia và toán gia. Là một người tự học, thuở thiếu thời ông đã đọc các *Bách khoa thư* nổi tiếng; trong một cuộc đời đầy bi kịch riêng tư, ông lang thang từ Toán sang Hoá và Lý, làm công việc của một giáo viên trung học và không công bố công trình quan trọng nào cho tới năm 1820. Lúc đó khám phá của Oersted lan toả khắp châu Âu: dòng điện có thể làm lệch kim la bàn. Ampère nghiên cứu để tài này trong nhiều năm và năm 1826 ông đã công bố bài tổng kết về các khám phá của mình, khiến cho Maxwell phải gọi ông là 'Newton của điện học'. Ampère đặt tên và phát triển nhiều lĩnh vực trong Điện động lực học. Năm 1832, ông và các kỹ thuật viên cũng đã tạo ra một *dynamo* đầu tiên, tức là máy phát điện quay. Dĩ nhiên đơn vị cường độ dòng điện được gọi theo tên ông.

Ampère có 2 con mèo, mà ông rất cưng, một con lớn một con nhỏ. Khi ông đang làm thí nghiệm trong phòng thì chúng muốn vào và chẳng bao lâu lại muốn ra. Mỗi ngày ông phải cho chúng ăn. Ông cho làm 2 lỗ trên cánh cửa, một lớn một nhỏ.



HÌNH 19 Dòng điện làm cho thanh kim loại quay.

là cực bắc và cực nam. Hai cực khác tên hút nhau, cùng tên đẩy nhau. Ampère tự hào về khám phá của mình đến nỗi ông đặt ra một cái tên đặc biệt cho cuộn dây dẫn; đó là *solenoid*.

Như ta đã biết, Trái đất là một nam châm lớn, với cực bắc gần cực Nam địa lý và ngược lại. La bàn đã chứng tỏ điều này. Tuy vậy, từ trường của Trái đất *không* bắt nguồn từ một nam châm vĩnh cửu rắn bên trong nó. Lõi rắn của Trái đất, ở nhiệt độ 6 ± 1 kK, quá nóng nên không thể là nam châm vĩnh cửu được; thay vào đó từ trường bắt nguồn từ các dòng điện tròn trong lõi lỏng bên ngoài. Như vậy Trái đất giống một solenoid hơn là nam châm! Ngoài ra, công suất để giữ cho địa-dynamo hoạt động được ước lượng vào khoảng từ 200 đến 500 GW và bắt nguồn từ nhiệt trong tâm Trái đất. Ta sẽ tìm hiểu
Trang 222
địa-dynamo sau đây.

Mọi mối liên hệ điện-từ đều có thể sử dụng để làm *động cơ điện*. Đầu tiên, dòng điện trong cuộn dây được sử dụng để tạo ra từ trường; rồi từ trường được sử dụng để làm chuyển động một nam châm gắn với trục động cơ. Chi tiết để thực hiện việc này một cách hiệu quả phụ thuộc vào kích thước của động cơ mà ta tạo ra; chúng tạo ra một khoa học riêng: Điện kỹ thuật. Hình 18 cho ta thấy một số ví dụ về động cơ điện.

Dòng điện nào chảy trong nam châm?

Không có đơn cực từ. Do đó mọi từ trường trong thiên nhiên đều bắt nguồn từ điện tích chuyển động. Nhưng điều đó thật là kỳ lạ; nếu mọi từ trường đều do điện tích chuyển động thì trong đá từ tính hay nam châm vĩnh cửu cũng vậy. Ta có thể chứng minh điều này không?

Năm 1915, hai người Hoà Lan đã tìm thấy một cách đơn giản để chứng tỏ rằng trong mọi nam châm vĩnh cửu đều có điện tích chuyển động. Họ treo một thanh kim loại lên trần nhà bằng một sợi dây mảnh rồi đặt cuộn dây bao quanh thanh kim loại như ta thấy trong Hình 19. Họ tiên đoán rằng các dòng điện tí hon trong thanh kim loại sẽ trở thành song song với từ trường của cuộn dây. Họ nghĩ là một dòng điện chạy qua cuộn dây sẽ làm cho thanh kim loại quay quanh trục của nó. Và đúng như vậy, khi họ cho một dòng điện mạnh chạy qua cuộn dây thì thanh kim loại quay. (Do dòng điện, thanh đã bị từ
Xem 22
hoá.) Ngày nay, hiệu ứng này được gọi là *hiệu ứng Einstein–de Haas* theo tên 2 người đã nghĩ ra, đo đạc và giải thích nó.* Hiệu ứng này chứng tỏ rằng ngay trong trường hợp

* Wander Johannes de Haas (b. 1878 Lisse, d. 1960 Bilthoven) là vật lý gia được biết đến nhiều nhất vì 2 hiệu

của nam châm vĩnh cửu, từ trường cũng bắt nguồn từ các chuyển động của điện tích trong nam châm. Độ lớn của hiệu ứng Einstein–de Haas cũng chứng tỏ rằng điện tích chuyển động là các electron. Mười hai năm sau, năm 1927, người ta hiểu rằng moment động lượng tạo ra hiệu ứng là sự hoà trộn của moment động lượng spin và moment động lượng vân đạo; đúng ra spin electron giữ vai trò chính trong hiệu ứng này. Ta sẽ tìm hiểu spin electron trong quyển nói về Thuyết lượng tử. Tóm lại,

▷ Từ cực bắt nguồn từ trục quay của điện tích.

Đặc biệt, một nam châm có 2 cực vì trục quay có 2 đầu.

Nam châm vĩnh cửu được làm bằng chất thiết từ. Từ tính của chúng bắt nguồn từ sự thẳng hàng của các chuyển động quay vi mô. Do mối liên hệ này, ta có thể tiên đoán một hiệu ứng còn kỳ lạ hơn: quay tròn một mảnh vật liệu thiết từ không có từ tính sẽ làm nó bị từ hoá vì các dòng điện tròn tí hon lúc đó sẽ song song với trục quay. Người ta đã quan sát được hiệu ứng này; nó được gọi là *hiệu ứng Barnett* theo tên người khám phá. Giống như hiệu ứng Einstein–de Haas, độ lớn của hiệu ứng Barnett cũng có thể được sử dụng để xác định tỷ số hồi chuyển từ của electron. Tóm lại, hiệu ứng Barnett cũng chứng tỏ rằng spin của electron trong Từ học (thường) có vai trò quan trọng hơn moment động lượng vân đạo của chúng.

Xem 23

Quyển IV, trang 108

Mô tả từ trường

Mọi thí nghiệm đều chứng tỏ rằng từ trường có hướng và độ lớn chung đối với mọi quan sát viên (đang đứng yên), bất kể hướng của họ. Như vậy ta bị lôi cuốn theo hướng mô tả từ trường bằng vector. Tuy vậy, điều này sai, vì từ trường không hành xử như một mũi tên đặt trước gương. Hãy tưởng tượng ra một hệ sinh ra một từ trường hướng về bên phải. Bạn có thể lấy một cuộn dây, một động cơ, v.v... bất kỳ. Bây giờ hãy tạo hay tưởng tượng ra một hệ thứ 2 giống như một phiên bản đối xứng gương của hệ đầu tiên: cuộn dây ảnh, động cơ ảnh, ... Từ trường của hệ ảnh không chỉ qua trái như bạn mong đợi: nó vẫn chỉ qua phải. (Bạn hãy tự kiểm tra điều này.) Nói cho dễ hiểu, từ trường *không* hành xử như các mũi tên.

Câu đố 21 e

Nói cách khác, mô tả từ trường bằng một vector $\boldsymbol{B} = (B_x, B_y, B_z)$ là *sai* hoàn toàn vì vector hành xử như các mũi tên. Từ trường là một *giả vector* hay *vector trục*; moment động lượng và moment lực cũng là các đại lượng như vậy. Cách chính xác để mô tả từ trường là dùng đại lượng*

$$\boldsymbol{B} = \begin{pmatrix} 0 & -B_z & B_y \\ B_z & 0 & -B_x \\ -B_y & B_x & 0 \end{pmatrix} , \qquad (9)$$

ứng từ-điện mang tên ông, *hiệu ứng Shubnikov–de Haas* (sự tăng mạnh từ trở của bismuth ở nhiệt độ thấp và từ trường mạnh) và *hiệu ứng de Haas–van Alphen* (độ cảm nghịch từ của bismuth ở nhiệt độ thấp biến thiên tuần hoàn theo từ trường).

* Cho đến gần đây đại lượng $\boldsymbol{B}$ mới được coi là 'từ trường'. Ta theo định nghĩa hiện đại và hợp lý này, là định nghĩa thay thế cho định nghĩa truyền thống, trong đó $\boldsymbol{B}$ được gọi là 'mật độ từ thông' hay 'cảm ứng từ' và $\boldsymbol{H}$, được gọi – sai hơn 1 thế kỷ – là từ trường. Đại lượng $\boldsymbol{H}$ sẽ không xuất hiện trong sách này nhưng vẫn còn quan trọng khi ta mô tả hiện tượng từ trong vật liệu.

BẢNG 11 Tính chất của từ trường cổ điển: vector trục.

Từ trường có thể	Tính chất vật lý	Tên toán học	Định nghĩa
hút dòng điện	làm lệch hướng điện tích	tương tác	phương trình (10)
đẩy dòng điện	làm lệch hướng điện tích	tương tác	phương trình (10)
phân biệt được	tính phân biệt được	phần tử của tập hợp	Trang 284
thay đổi dần	môi trường liên tục	không gian vector thực	Quyển I, trang 81, Quyển V, trang 365
chỉ tới một nơi nào đó	hướng	không gian vector, thứ nguyên	Quyển I, trang 81
so sánh được	tính đo được	tính metric	Quyển IV, trang 236
cộng được	cộng tính	không gian vector	Quyển I, trang 81
có góc xác định	hướng	không gian vector Euclide	Quyển I, trang 81
vượt mọi giới hạn	tính vô hạn	tính không giới nội	Trang 286
giữ được hướng qua phép phản chiếu	tính theo trục	vector chẵn lẻ dương, giả vector	Trang 91
đổi hướng qua phép nghịch đảo thời gian	tính theo trục	vector thời gian âm	Trang 91

được gọi là *tensor phản đối xứng*.

Từ trường được định nghĩa theo gia tốc mà nó truyền cho các điện tích chuyển động. Gia tốc này tuân theo hệ thức

$$\boldsymbol{a} = \frac{q}{m}\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B} \tag{10}$$

đối với điện tích q có khối lượng m. Hệ thức này thường được gọi là *gia tốc Lorentz*, theo tên vật lý gia nổi tiếng Hendrik A. Lorentz* là người đầu tiên phát biểu rõ ràng về công

Quyển II, trang 41

* Để biết rõ hơn về Hendrik A. Lorentz (b. 1853 Arnhem, d. 1928 Haarlem), hãy đọc quyển sách nói về Thuyết tương đối.

BẢNG 12 Một số cảm biến dành cho từ trường tĩnh và chuẩn tĩnh.

Đối tượng đo	Cảm biến	Phạm vi đo
Hiệu thế	đầu dò Hall	lên tới nhiều T
Suất điện động cảm ứng (hiệu thế)	chim bồ câu	từ vài nT
Kích thích sự tăng trưởng của xương	tính áp điện và tính từ giảo của xương	từ 50 mT
Suất điện động cảm ứng (hiệu thế)	dây thần kinh người	từ vài T
Cảm giác ở ngực và vai	dây thần kinh của người	gradient chuyển mạch mạnh
Cá mập	hiệu thế cảm ứng khi quẫy sang trái/phải	vài nT
Thực vật	không rõ	ít có tác dụng lên sự tăng trưởng

thức này.* Gia tốc Lorentz còn được gọi là *gia tốc Laplace*, xác định độ lớn và hướng của từ trường $\boldsymbol{B}$. Đơn vị của từ trường là tesla viết tắt là T. Ta có $1\,\mathrm{T} = 1\,\mathrm{N\,s/C\,m} = 1\,\mathrm{V\,s/m^2} = 1\,\mathrm{V\,s^2/A\,m}$.

Từ trường được định nghĩa và đo bằng tác dụng của nó lên các điện tích chuyển động. Ta hãy xem xét định nghĩa này. Định nghĩa từ trường đã cho ở đây có giả sử là tốc độ
Câu đố 22 s điện tích nhỏ hơn tốc độ ánh sáng hay không?

Định nghĩa của từ trường đã giả sử, giống như trường hợp điện trường, là điện tích thử q rất nhỏ nên không làm nhiễu loạn trường $\boldsymbol{B}$ được đo. Ở đây ta bỏ qua vấn đề này
Trang 247 tức là bỏ qua các hiệu ứng lượng tử cho đến phần sau của cuộc phiêu lưu.

Định nghĩa này cũng giả sử không-thời gian là phẳng và bỏ qua mọi vấn đề về độ cong của không-thời gian.

Gia tốc Lorentz là tác dụng cơ bản của từ trường lên điện tích chuyển động. Gia tốc Lorentz là tác dụng nền tảng của mọi động cơ điện. Động cơ điện là một thiết bị sử dụng từ trường để gia tốc dòng điện trong dây dẫn một cách hiệu quả. Thông qua chuyển động của điện tích, dây dẫn chuyển động theo. Trong động cơ điện, điện biến thành từ rồi thành chuyển động. Những động cơ điện hiệu quả đã được tạo ra trong thập niên 1830.

Điện tích chuyển động tạo ra từ trường. Giống như điện trường, ta cần biết cách mà *cường độ* từ trường thay đổi theo điện tích chuyển động. Những thí nghiệm như thí

Quyển I, trang 115
* Biểu thức $\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}$ là tích vector của 2 vector. Cách tính tích vector $\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}$ từng thành phần một trong thực hành là dùng định thức

$$\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B} = \begin{vmatrix} \boldsymbol{e}_x & v_x & B_x \\ \boldsymbol{e}_y & v_y & B_y \\ \boldsymbol{e}_z & v_z & B_z \end{vmatrix} \quad \text{hay gọn hơn} \quad \boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B} = \begin{vmatrix} + & - & + \\ v_x & v_y & v_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix} . \tag{11}$$

Cách này dễ nhớ và dễ làm, bằng chữ lẫn bằng số. (Ở đây, $\boldsymbol{e}_x$ là vector đơn vị theo hướng x.) Viết rõ ra thì nó tương đương với hệ thức

$$\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B} = (v_y B_z - B_y v_z, B_x v_z - v_x B_z, v_x B_y - B_x v_y) \tag{12}$$

khó nhớ hơn.

nghiệm Oersted chứng tỏ rằng từ trường của một điện tích điểm q chuyển động với vận tốc $\boldsymbol{v}$ sẽ tạo ra một trường $\boldsymbol{B}$ với

$$\boldsymbol{B}(\boldsymbol{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} q \frac{\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{r}}{r^3} \quad \text{trong đó} \quad \frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7}\,\mathrm{N/A^2}\,. \tag{13}$$

Đây là *'định luật' Ampère*. Hệ số kỳ lạ $\mu_0/4\pi$ bắt nguồn từ cách định nghĩa mang tính lịch sử của các đơn vị điện. Hằng số μ_0 được gọi là *độ từ thẩm của chân không* và được xác định bằng thương số newton/(ampere bình phương) trong công thức. Dễ dàng thấy là từ trường có cường độ bằng $\boldsymbol{v}\boldsymbol{E}/c^2$, trong đó $\boldsymbol{E}$ là điện trường mà quan sát viên chuyển động *cùng với* điện tích đo được. Đây là một trong nhiều chi tiết cho thấy hiện tượng từ là một hiệu ứng tương đối tính.

Câu đố 23 e

Ta cũng nên nhớ rằng phương trình (13) chỉ đúng đối với các vận tốc và gia tốc nhỏ. Bạn có thể tìm ra hệ thức tổng quát không?

Câu đố 24 s

Điện từ học

Năm 1831, Michael Faraday khám phá ra mảnh ghép bổ sung cho bài toán ghép hình điện-từ, mảnh ghép mà ngay cả thiên tài Ampère cũng không tìm ra. Ông nhận thấy rằng

▷ Một nam châm *chuyển động* gây ra dòng điện trong một mạch điện.

Như vậy từ có thể biến thành điện. Khám phá quan trọng này cho phép ta sản xuất điện bằng máy phát điện được gọi là *dynamo*, bằng cách sử dụng năng lượng của nước, gió hay hơi nước. Đúng ra dynamo đầu tiên đã được Ampère và các kỹ thuật viên của ông tạo ra vào năm 1832. Dynamo đã mở màn cho việc sử dụng điện năng trên toàn thế giới. Sau mỗi ổ cắm điện đều có một dynamo ở đâu đó.

Oersted đã nhận ra là dòng điện tạo ra từ trường. Faraday đã nhận ra là từ trường có thể tạo ra dòng điện và điện trường. Điện trường và từ trường là 2 mặt của cùng một hiện tượng: *điện từ*. Phải mất thêm 30 năm nữa để ta có được một mô tả đầy đủ.

Các thí nghiệm bổ sung cho ta thấy rằng từ trường cũng dẫn tới điện trường khi ta chuyển sang hệ quy chiếu chuyển động. Bạn có thể kiểm tra điều này trên mọi thí dụ của Hình 18 cho tới 44.

▷ Từ học là Điện học tương đối tính.

Điện trường và từ trường được biến đổi qua lại khi chuyển từ hệ quy chiếu quán tính này sang hệ quy chiếu quán tính khác. Như vậy điện trường và từ trường hành xử như không gian và thời gian, hoà trộn với nhau khi thay đổi từ hệ quy chiếu quán tính này sang hệ quy chiếu quán tính khác. Trong trường hợp đó Thuyết tương đối đặc biệt cho ta biết rằng phải có một khái niệm đơn giản, một *điện từ trường*, mô tả cả hai. Khi xem xét kỹ lưỡng, người ta nhận thấy rằng điện từ trường $\boldsymbol{F}$ bao quanh các vật mang điện

phải được mô tả bằng một *tensor* phản đối xứng 4 chiều

$$\boldsymbol{F}^{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 0 & -E_x/c & -E_y/c & -E_z/c \\ E_x/c & 0 & -B_z & B_y \\ E_y/c & B_z & 0 & -B_x \\ E_z/c & -B_y & B_x & 0 \end{pmatrix} \text{ hay } \boldsymbol{F}_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 0 & E_x/c & E_y/c & E_z/c \\ -E_x/c & 0 & -B_z & B_y \\ -E_y/c & B_z & 0 & -B_x \\ -E_z/c & -B_y & B_x & 0 \end{pmatrix} . \quad (14)$$

Điều hiển nhiên là điện từ trường $\boldsymbol{F}$ và như vậy mọi thành phần của các matrix này phụ thuộc vào không gian và thời gian. Điều chủ yếu là các matrix này cho ta thấy điện và từ là 2 mặt của cùng một tác dụng.* Hơn nữa vì điện trường chỉ xuất hiện trong hàng trên cùng và cột bên trái nên biểu thức cho ta thấy rằng trong đời sống hằng ngày, khi tốc độ nhỏ, điện và từ *có thể* xem như tách biệt. (Tại sao?)

Câu đố 25 s

Sử dụng các ký hiệu tương đối tính, điện từ trường được xác định thông qua gia tốc 4 chiều $\boldsymbol{b}$ sinh ra trên một điện tích q có khối lượng m và vận tốc 4 chiều $\boldsymbol{u}$:

$$m\boldsymbol{b} = q\boldsymbol{F}\boldsymbol{u} \quad \text{hay với ký hiệu vector 3 chiều}$$
$$\mathrm{d}E/\mathrm{d}t = q\boldsymbol{E}\boldsymbol{v} \quad \text{và} \quad \mathrm{d}\boldsymbol{p}/\mathrm{d}t = q(\boldsymbol{E} + \boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}) . \quad (15)$$

Biểu thức này biểu diễn sự phụ thuộc của công suất $\mathrm{d}E/\mathrm{d}t$ (ký tự E ký hiệu năng lượng, trong khi $\boldsymbol{E}$ ký hiệu điện trường) và lực 3 chiều $\mathrm{d}\boldsymbol{p}/\mathrm{d}t$ vào điện trường và từ trường.** Biểu thức vector 4 chiều và 3 chiều mô tả cùng một nội dung; sự đơn giản của của biểu thức đầu tiên là lý do ta sử dụng các matrix (14) để mô tả điện từ trường $\boldsymbol{F}$.

Cũng cần nhấn mạnh rằng *hệ thức Lorentz* mở rộng (15) là *định nghĩa* của điện từ trường $\boldsymbol{F}$, vì trường được định nghĩa là 'chất liệu' gia tốc các điện tích. Đặc biệt, mọi thiết bị làm điện tích chuyển động như pin và dynamo, cũng như mọi thiết bị chuyển động nhờ dòng điện, như động cơ điện và cơ bắp, đều được mô tả bằng hệ thức này. Đó là lý do ta thường hay nghiên cứu hệ thức này, dưới dạng vector 3 chiều, như trong chương trình phổ thông. Hệ thức Lorentz mô tả mọi trường hợp từ chuyển động có thể nhìn thấy bằng mắt cho tới chuyển động có thể cảm nhận bằng cảm giác như chuyển động của xe điện cao tốc, chuyển động trong thang máy hay trong máy khoan của nha sĩ, chuyển động của hình ảnh được chùm electron trong ống tia cathode trong chiếc TV cũ tạo ra hay sự du hành của tín hiệu điện trong dây cáp và trong dây thần kinh của người.

Xem 24, Xem 25

Tóm lại, ta thấy rằng sự tương tác giữa các điện tích có thể được mô tả bằng 2 phát biểu: một, điện tích *sinh ra* điện trường và từ trường; hai, điện tích bị *ảnh hưởng* bởi điện

* Thật ta biểu thức của trường chứa $1/\sqrt{\mu_o\varepsilon_0}$ thay vì tốc độ ánh sáng c. Ta sẽ giải thích lý do của sự thay thế này sau.

** Trong ký hiệu thành phần, bằng cách sử dụng quy ước tính tổng theo chỉ số Hy Lạp xuất hiện 2 lần, định nghĩa của lực Lorentz là

$$mb^\mu = m\frac{\mathrm{d}u^\mu}{\mathrm{d}\tau} = qF^\mu{}_\nu u^\nu \quad \text{hay}$$
$$m\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\tau}\begin{pmatrix} \gamma c \\ \gamma v_x \\ \gamma v_y \\ \gamma v_z \end{pmatrix} = q\begin{pmatrix} 0 & E_x/c & E_y/c & E_z/c \\ E_x/c & 0 & B_z & -B_y \\ E_y/c & -B_z & 0 & B_x \\ E_z/c & B_y & -B_x & 0 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \gamma c \\ \gamma v_x \\ \gamma v_y \\ \gamma v_z \end{pmatrix} . \quad (16)$$

trường và từ trường. Điện tích chuyển động và trường phụ thuộc thời gian. Việc nghiên cứu các hiện tượng này được gọi là *Điện động lực học*.

Các bất biến và Lagrangian của điện từ trường

* Tensor điện từ trường $\boldsymbol{F}$ là một tensor 4 chiều *phản đối xứng*. (Bạn có thể viết ra hệ
Câu đố 26 e
thức giữa $\boldsymbol{F}^{\mu\nu}$, $\boldsymbol{F}_{\mu\nu}$ và $\boldsymbol{F}^{\mu}{}_{\nu}$ không?) Giống như các tensor phản đối xứng khác, điện từ trường có 2 *bất biến*, tức là 2 tính chất giống nhau đối với mọi quan sát viên. Bất biến thứ nhất là biểu thức

$$B^2 - E^2/c^2 = \frac{1}{2}\mathrm{tr}\,\boldsymbol{F}^2 \qquad (17)$$

và bất biến thứ 2 là tích

$$4\boldsymbol{EB} = -c\ \mathrm{tr}\,\boldsymbol{F}^*\boldsymbol{F}\ . \qquad (18)$$

Bạn có thể chứng minh 2 bất biến này bằng cách sử dụng phương trình vết tr là tổng các
Câu đố 27 s
phần tử trên đường chéo không?

Biểu thức của bất biến đầu tiên, $B^2-E^2/c^2 = \frac{1}{2}\mathrm{tr}\,\boldsymbol{F}^2$, hoá ra (tỷ lệ với) mật độ Lagrange của điện từ trường. Đặc biệt, bất biến này là một vô hướng. Bất biến này hàm ý rằng nếu E lớn hơn, nhỏ hơn hay bằng cB đối với 1 quan sát viên thì nó cũng như vậy đối với mọi quan sát viên khác. Giống như mọi đại lượng cường tính khác, Lagrangian tỷ lệ với *bình phương* của đại lượng cường tính. Dấu trừ trong biểu thức giống như dấu trừ trong $c^2t^2 - x^2$: nó là kết quả của sự hoà trộn của điện trường và từ trường bắt nguồn từ các phép biến đổi.

Mật độ Lagrange có thể sử dụng để xác định tác dụng cổ điển của điện từ trường:

$$S = \int \frac{\varepsilon_0}{2}E^2 - \frac{1}{2\mu_0}B^2\mathrm{d}t\mathrm{d}V\ . \qquad (19)$$

Như thường lệ, tác dụng đo sự *biến đổi* xảy ra trong một hệ; như vậy nó xác định lượng biến đổi xảy ra khi một điện từ trường chuyển động. (Biểu thức đối với sự biến đổi hay
Quyển IV, trang 48
tác dụng của một chùm ánh sáng chuyển động thu gọn thành tích của cường độ và độ biến đổi phase tổng cộng của nó.) Tác dụng của trường điện từ tăng lên theo cường độ và tần số của nó. Như thường lệ, biểu thức của tác dụng có thể được sử dụng để mô tả chuyển động của điện từ trường bằng cách dùng *nguyên lý tác dụng cực tiểu*. Thật vậy, nguyên lý này dẫn tới phương trình tiến hoá của điện từ trường, còn gọi là *các phương trình trường Maxwell của Điện động lực học*. Cách tiếp cận này là cách đơn giản nhất để
Trang 77
suy ra chúng. Ta sẽ bàn chi tiết về các phương trình này sau.

Bất biến thứ 2 của tensor điện từ trường, $4\boldsymbol{E}\cdot\boldsymbol{B} = -c\ \mathrm{tr}\,\boldsymbol{F}^*\boldsymbol{F}$, là một giả vô hướng; nó mô tả việc góc giữa điện trường và từ trường nhọn hay tù đối với mọi quan sát viên.**

Ứng dụng của các hiệu ứng điện từ

Việc ứng dụng các hiệu ứng điện từ trong đời sống hằng ngày đã làm thay đổi cả thế giới. Thí dụ như việc xây dựng các hệ thống đèn đường trong các đô thị đã loại bỏ các cuộc

* Có thể bỏ qua phần này trong lần đọc đầu tiên.
** Thật ra còn một bất biến thứ 3, ít được biết tới. Nó là đặc trưng của điện từ trường và là tổ hợp của

hành hung xảy ra vào ban đêm thường xảy ra trước kia. Mọi thiết bị điện đều tận dụng hiện tượng điện tích có thể chuyển động trong kim loại và đặc biệt, việc năng lượng điện từ có thể được biến đổi

— thành cơ năng – như trong loa, động cơ và bắp thịt;
— thành ánh sáng – như trong đèn, laser, sợi thuỷ tinh, đom đóm, mực khổng lồ và các động vật dưới biển sâu;
— thành nhiệt – như trong lò điện, chăn điện, ấm trà và lươn điện (để làm choáng váng rồi giết con mồi);
— thành các tác dụng hoá học – như trong sự thuỷ giải, sạc pin, mạ điện và não bộ;
— thành cái lạnh – như trong tủ lạnh và chip Peltier (nhưng chưa gặp trong sinh vật);
— thành tín hiệu sóng vô tuyến – như trong radio và TV (nhưng chưa gặp trong sinh vật);
— thành thông tin lưu trữ – như trong băng từ, máy tính, ký ức người và động vật.

Bắt nguồn từ các tác dụng này, đèn điện, laser, pin, động cơ điện, tủ lạnh, radio, điện thoại, tia X, TV và máy tính, cuộc sống con người đã hoàn toàn thay đổi trong hơn nửa thế kỷ nay.

Các hiệu ứng điện từ hữu dụng trong việc thực hiện một điều gì đó tại một nơi và một thời điểm đặc biệt, tức là tạo ra được các bộ dẫn động. Ngoài ra, hiệu ứng điện từ cũng hữu dụng trong việc thu nhận thông tin từ môi trường, tức là tạo ra được các cảm biến.

Trang 230

Nhiều ứng dụng của hiện tượng điện từ cũng xảy ra trong các sinh hệ. Tuy vậy, không có sinh hệ nào sử dụng tia X. (Tại sao?) Không có sinh vật sử dụng máy lạnh. (Tại sao?) Và có các sinh hệ liên lạc bằng sóng vô tuyến hay không?

Câu đố 29 s
Câu đố 30 s

Hệ thần kinh hoạt động như thế nào?

Hệ thần kinh là các kỳ quan. Không có chúng, ta không thể cảm nhận được sự hỉ lạc, sự đớn đau, nhìn ngắm và lắng nghe. Không có chúng ta không sống được. Nhưng hệ thần kinh vận chuyển các tín hiệu như thế nào?

Trang 32

Năm 1789, Luigi Galvani đã khám phá ra rằng hệ thần kinh vận chuyển các tín hiệu điện bằng các thí nghiệm với chân ếch. Hệ thần kinh có phải là các dây dẫn hay không? Sau Galvani 150 năm thì rõ ràng là dây thần kinh, hay chính xác hơn, sợi thần kinh, không dẫn điện bằng cách sử dụng electron như trong dây kim loại mà sử dụng các *ion*. Sự lan truyền các tín hiệu thần kinh là sự chuyển động của các ion sodium Na^+

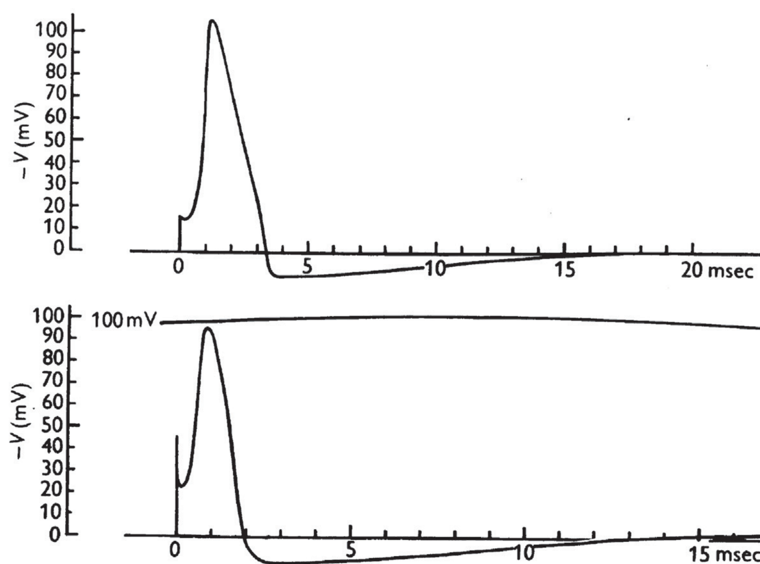
---

trường và thế vector của nó:

$$\kappa_3 = \frac{1}{2}A_\mu A^\mu \boldsymbol{F}_{\rho\nu}\boldsymbol{F}^{\nu\rho} - 2A_\rho \boldsymbol{F}^{\rho\nu}\boldsymbol{F}_{\nu\mu}A^\mu$$
$$= (\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{E})^2 + (\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B})^2 - |\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{E}|^2 - |\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}|^2 + 4\frac{\varphi}{c}(\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{E}\times\boldsymbol{B}) - \left(\frac{\varphi}{c}\right)^2(E^2+B^2)\,. \tag{20}$$

Biểu thức này là bất biến Lorentz (nhưng không phải là bất biến chuẩn); việc biết đến nó có thể làm sáng tỏ nhiều vấn đề như việc không có sóng mà trong đó điện trường song song với từ trường. Thật vậy, đối với sóng phẳng đơn sắc cả 3 bất biến *đều bằng 0* trong điều kiện chuẩn Lorentz. Các đại lượng $\partial_\mu j^\mu$, $j_\mu A^\mu$ – j là cường độ dòng điện – và $\partial_\mu A^\mu$ cũng là các bất biến Lorentz. (Tại sao?) Số hạng sau cùng, sự độc lập đối với hệ quy chiếu của sự phân kỳ của thế 4 chiều, phản ánh sự bất biến của sự lựa chọn chuẩn. Chuẩn trong đó biểu thức này bằng 0 được gọi là *chuẩn Lorentz*.

Xem 26
Trang 87
Câu đố 28 s



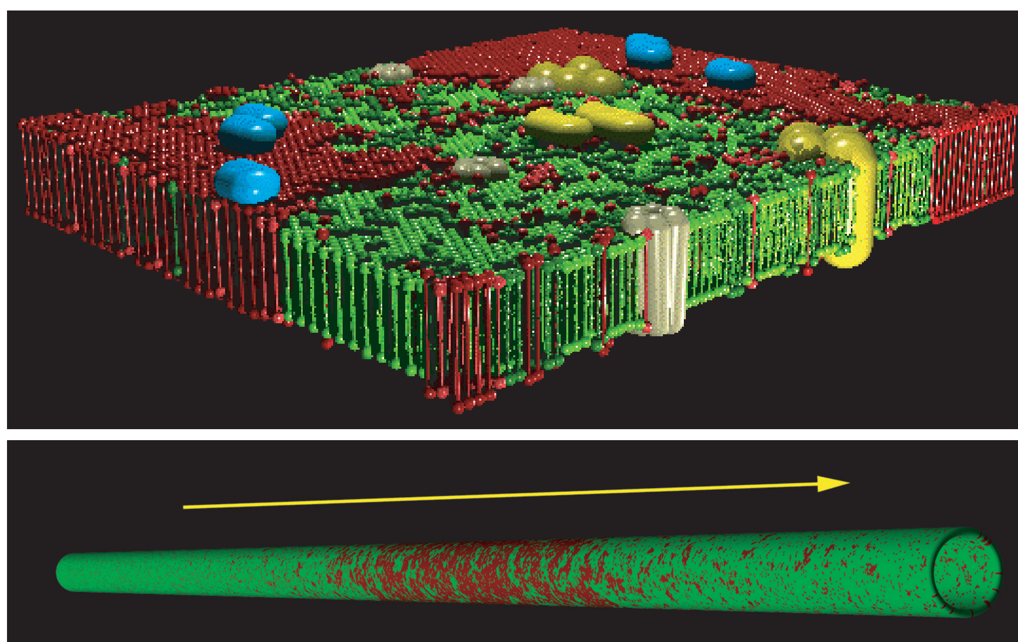
HÌNH 20 Tín hiệu điện trong dây thần kinh theo tính toán (hình trên) và đo được (hình dưới), theo Hodgkin và Huxley.

và potassium K^+ xuyên qua màng tế bào dây thần kinh. Tốc độ của tín hiệu khoảng từ 0.5 m/s đến 120 m/s, tuỳ vào loại dây thần kinh. (Sợi thần kinh được bao phủ bằng myelin, một protein có tác dụng như chất dẫn điện thì có tốc độ truyền nhanh hơn sợi không phủ.) Tốc độ tín hiệu vừa đủ cho sự sinh tồn của phần lớn các loài – nó giúp cho động vật thoát hiểm.

Dây thần kinh còn khác với dây dẫn ở một điểm nữa: chúng không thể truyền các tín hiệu có hiệu thế không đổi mà chỉ truyền các *xung*. Trước tiên mô hình gần đúng của Xem 27 hoạt động này đã được Hodgkin và Huxley trình bày năm 1952. Bằng cách sử dụng các thí nghiệm về hoạt động của các ion potassium và sodium, họ đã suy ra một phương trình tiến hoá phức tạp mô tả hiệu thế V trong dây thần kinh tức là cách mà tín hiệu truyền đi. Phương trình này đã vẽ lại các xung hiệu thế đặc trưng đo được trong dây thần kinh, như ta thấy trong Hình 20.

Bộ phận mà nhờ nó các ion có thể xuyên qua màng, thường được gọi là *protein kênh*, chỉ mới được chứng minh trong 20 năm gần đây. Mặc dù công trình có đồ sộ và Hodgkin và Huxley nhận giải Nobel y học nhờ công trình này, mô hình vẫn chưa đúng. Mô hình chưa giải thích được tính thuận nghịch của quá trình lan truyền tín hiệu, sự thay đổi độ dày của dây thần kinh trong quá trình lan truyền cũng như sự kích thích dây thần kinh bằng các biến dạng đơn giản hay sự thay đổi nhiệt độ; điều quan trọng nhất là mô hình không giải thích được hoạt động của thuốc gây mê. Hoạt động chi tiết của hệ thần kinh vẫn còn bị ẩn giấu.

Chỉ vào khoảng năm 2000 Thomas Heimburg và cộng sự mới khám phá ra phương

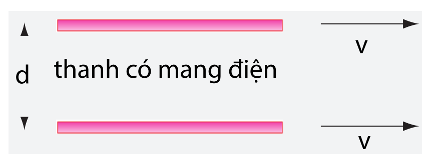


HÌNH 21 Hình trên: màng sinh học, với lipid rắn (đỏ), lipid lỏng (lục) và các protein hoà tan khác (vàng, lam , trắng). Hình dưới: một xung thần kinh lan truyền như một sự biến đổi phase 2 chiều lỏng/rắn/lỏng dọc theo màng dây thần kinh hình trụ (© Thomas Heimburg/Wiley-VCH).

Xem 28 thức mà tín hiệu truyền đi trong dây thần kinh. Ông đã chứng tỏ rằng xung thần kinh là một sóng soliton điện cơ trong màng hình trụ. Trong màng này, cấu trúc protein thay đổi từ lỏng sang rắn rồi trở về lỏng. Vòng protein rắn, ngắn, hơi dày lên này lan truyền dọc theo hình trụ: đó là xung thần kinh. Tóm lại, xung thần kinh không làm cho protein di chuyển mà chỉ làm cho vùng rắn di chuyển. Mô hình được trình bày trong Hình 21. (Thuật ngữ 'rắn' có một ý nghĩa kỹ thuật chính xác trong những hệ 2 chiều và mô tả một trạng thái có trật tự đặc biệt của các phân tử). Mô hình lan truyền này giải thích được mọi tính chất của xung thần kinh mà trước kia ta không giải thích được. Đặc biệt, nó giải thích được cách thuốc mê hoạt động vì chúng hoà tan trong màng và ngăn việc tạo ra và truyền đi của các vòng protein. Mọi tiên đoán định lượng của mô hình đều phù hợp với thực nghiệm.

Tóm lại, tín hiệu thần kinh là các xung điện cơ; chúng là sự hoà trộn của dòng điện và sóng âm. Mô hình điện cơ của dây thần kinh giải thích cách tín hiệu truyền đi, sự đau đớn được cảm nhận như thế nào và tại sao ta không cảm thấy đau khi dùng thuốc tê/mê.

Điều thú vị là mô hình điện cơ của sự lan truyền xung thần kinh (chưa) giải thích được tại sao ta mất cảm giác khi dùng thuốc tê/mê. Đây là một quá trình bổ sung xảy ra trong não. Người ta đã biết rằng sự mất cảm giác có liên hệ với sự thay đổi sóng não nhưng chưa rõ chi tiết. Não vẫn còn những tính chất kỳ diệu để cho ta khám phá.



HÌNH 22 Các thanh tích điện chuyển động song song minh hoạ cho tính chất tương đối tính của hiện tượng từ, như đã giải thích trong sách.

Động cơ đã chứng minh tính đúng đắn của Thuyết tương đối như thế nào

> Thao tác toán học duy nhất mà tôi đã thực hiện trong đời là quay cánh tay quay của máy tính.
> Michael Faraday

Mọi động cơ điện đều dựa trên kết quả tương tác của điện trường và từ trường. Thí dụ đơn giản nhất là sự hút nhau của 2 dòng điện song song. Thí nghiệm này, do Ampère thực hiện năm 1820, đủ để chứng tỏ rằng không thể có chuyển động nhanh hơn một tốc
Xem 29
độ cực đại nào đó. Lập luận vô cùng đơn giản.

Ta thay đổi thí nghiệm ban đầu và tưởng tượng có 2 thanh tích điện dài, có khối lượng m, chuyển động cùng hướng với vận tốc v và cách nhau một khoảng d. Một quan sát viên
Câu đố 31 e
chuyển động cùng với 2 thanh sẽ thấy một lực đẩy tĩnh điện là

$$ma_e = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2\lambda^2}{d} \tag{21}$$

trong đó λ là mật độ điện tích dài của thanh. Một quan sát viên thứ 2, *đứng yên* sẽ thấy
Câu đố 32 e
2 hiện tượng: lực đẩy tĩnh điện và lực hút Ampère. Do đó quan sát viên thứ 2 sẽ thấy

$$ma_{em} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2\lambda^2}{d} + \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{\lambda^2 v^2}{d} \ . \tag{22}$$

Biểu thức này phải nhất quán với sự quan sát của quan sát viên 1. Điều này chỉ có được nếu cả 2 quan sát viên đều thấy lực đẩy. Dễ dàng kiểm tra được là quan sát viên 2 sẽ thấy lực đẩy giống như quan sát viên 1 chỉ khi

$$v^2 < \frac{1}{\varepsilon_0\mu_0} = c^2 \ . \tag{23}$$

Tốc độ cực đại c này, có giá trị 0.3 GM/s, đúng với mọi vật mang điện. Nhưng *mọi* vật thông thường đều có điện tích: như vậy có một tốc độ cực đại đối với vật chất.

Câu đố 33 d
Bạn có thể mở rộng lập luận này cho các hạt trung hoà không? Ta sẽ phát hiện thêm nhiều điều về tốc độ giới hạn này ngay sau đây.

Còn một lập luận khác để chứng minh hiện tượng từ là một hiệu ứng tương đối tính như sau. Trong một dây dẫn có dòng điện, điện tích bằng 0 đối với quan sát viên đứng yên đối với dây: dây *trung hoà* đối với quan sát viên đó. Lý do là điện tích đi vào và đi ra khỏi dây cùng lúc đối với quan sát viên đó. Bây giờ ta tưởng tượng có một quan sát viên bay dọc theo dây. Biến cố vào và ra không còn xảy ra đồng thời; dây có *tích điện* đối với

quan sát viên chuyển động. (Điện tích tuỳ thuộc vào hướng chuyển động của quan sát viên.) Bây giờ hãy tưởng tượng quan sát viên có mang điện. Anh ta sẽ bị dây hút hay đẩy vì dây có mang điện. Quan sát viên chuyển động sẽ nói rằng lực hút là do *điện* trường của dây. Quan sát viên đứng yên cũng sẽ nhận thấy sự hút hay đẩy của quan sát viên chuyển động nhưng vì theo anh ta thì dây trung hoà nên anh ta sẽ kết luận rằng các điện tích chuyển động sẽ chịu tác dụng của một lực – có thể có giá trị hơi khác nhưng điều này không quan trọng – bắt nguồn từ dòng điện trong dây dẫn; quan sát viên đứng yên sẽ nói rằng chung quanh một dòng điện sẽ có một *từ* trường chỉ tác dụng lên các điện tích chuyển động.

Tóm lại, các hiệu ứng điện bắt nguồn ít hay nhiều từ điện tích và các điện trường của chúng; hiện tượng từ, hiệu ứng từ và từ trường bắt nguồn từ các điện tích *chuyển động*.* Sự hiện hữu của từ trường là một hệ quả tương đối tính của điện trường. Đặc biệt, hiện tượng từ *không* bắt nguồn từ các hạt có từ tích. F Những hạt như vậy, được gọi là đơn cực từ, không hiện hữu. (Mặc dù vậy từ tích có thể được đưa ra như một công cụ toán học, để mô tả vật chất.) Cường độ từ trường, được sử dụng trong động cơ điện, bao gồm bàn chải điện của bạn, chứng tỏ Thuyết tương đối là đúng: có một tốc độ cực đại trong thiên nhiên đối với mọi vật và điện tích. Cả điện trường và từ trường đều mang năng lượng và động lượng. Chúng là 2 mặt của một đồng xu.

Trang 97

Các câu đố vui và lạ về các hiện tượng điện và từ

> “Alii vero et facta mirati et intellecta assecuti.**”
> Augustine of Hippo

Trước khi nghiên cứu kỹ điện từ trường, ta hãy giải trí một chút với điện.

* *

Ngày nay, việc giải trí với các tia lửa điện cũng dễ thực hiện. Cuộn Tesla, được đặt tên theo Nikola Tesla*** là thiết bị đơn giản nhất để tạo ra các tia lửa điện dài ngay tại nhà. Nhưng coi chừng: đây là một việc nguy hiểm; đó là lý do (gần như) không có chỗ nào bán các thiết bị như vậy. Sơ đồ cơ bản và một thí dụ được trình bày trong Hình 23. Cuộn Tesla trông như một cây nấm lớn (để tránh sự phóng điện không mong muốn) và các bản hướng dẫn chế tạo có thể tìm được trên nhiều website hay từ các câu lạc bộ của những người đam mê như www.stefan-kluge.de.

Trang 248
Câu đố 34 d

* ‘Electron chuyển động trong kim loại với tốc độ khoảng 1 µm/s; như vậy nếu tôi đi bộ với tốc độ như vậy dọc theo một sợi cáp có dòng điện không đổi, tôi sẽ không cảm nhận được một từ trường nào hết.’ Lập luận này sai ở chỗ nào?

** ‘Tuy vậy những người khác ngạc nhiên về những điều này và tìm hiểu ý nghĩa của chúng.’ Augustine, Sermon 98, 3. Augustine of Hippo (b. 354 Tagaste, d. 430 Hippo Regius) là một nhà thần học luân lý nổi tiếng. Mặc dù vậy, ông không chăm sóc con trai ngoại hôn của mình, cũng như mẹ của con ông, vì sự cấm đoán của mẹ ông.

*** Никола Тесла (b. 1856 Smiljan, d. 1943 New York City), kỹ sư và nhà phát minh. Ông đã phát minh và quảng bá các hệ thống điện giao phiên đa pha, động cơ điện giao phiên, truyền thông vô tuyến, đèn huỳnh quang và nhiều ứng dụng điện khác. Ông cũng là một trong các nhà phát minh của radio. Đơn vị SI của từ trường là tên của ông. Là một người hay khoa trương, tư tưởng của ông đôi khi không thực tế; thí dụ như ông tưởng tượng là cuộn Tesla có thể được sử dụng để truyền năng lượng vô tuyến.

Bảng 13 Hiệu thế đo được trong thiên nhiên.

Đối tượng đo	Hiệu thế
Hiệu thế đo được nhỏ nhất	*c.* 10 fV
Dây thần kinh của người	70 mV
Pin Volta	1 V
'Pin'	1.5 V
Nguồn điện chính trong nhà	230 V hay 110 V
Lươn điện	100 tới 600 V
Đường xe điện	500 V
Tia lửa điện khi cọ xát áo thun polymer	1 kV
Hàng rào điện	0.7 tới 10 kV
Đường tàu điện	15 kV
Bougie trong xe hơi	15 kV
Ống tia cathode của TV màu	30 kV
Ống tia X	30 tới 200 kV
Kính hiển vi điện tử	0.5 kV tới 3 MV
Súng điện	65 tới 600 kV
Tia sét	10 tới 100 MV
Hiệu thế kỷ lục của máy gia tốc	1 TV
Hiệu thế khả hữu cực đại trong thiên nhiên, hiệu thế Planck đã hiệu chỉnh $\sqrt{c^4/16\pi\varepsilon_0 G}$	$5.2 \cdot 10^{26}$ V

* *

Câu đố 35 s

Năm 1722, George Graham nhờ quan sát một kim la bàn đã khám phá ra là từ trường của Trái đất thay đổi hằng ngày. Bạn có thể tưởng tượng được tại sao lại có sự thay đổi này không?

* *

Câu đố 36 d

Ngay cả việc gõ lên cửa bằng gỗ cũng là một hiệu ứng điện, chúng ta có thể phát hiện ra điện trường này khi gõ như vậy. Bạn có thể đề nghị một thí nghiệm để kiểm chứng điều này không?

* *

Câu đố 37 s

Chim có thể đậu trên đường dây điện trần mà không bị nguy hiểm. Tuy vậy, ta cũng không bao giờ thấy chim trên các đường dây cao thế 100 kV truyền tải điện năng đi xa. Tại sao?

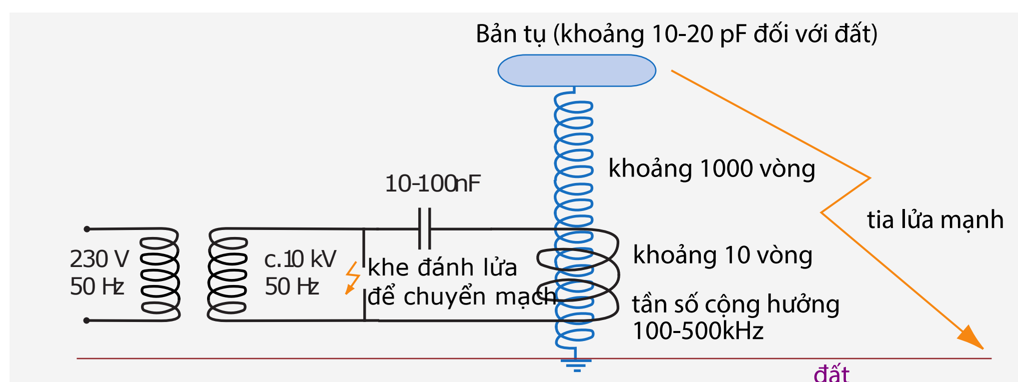
* *

Câu đố 38 s

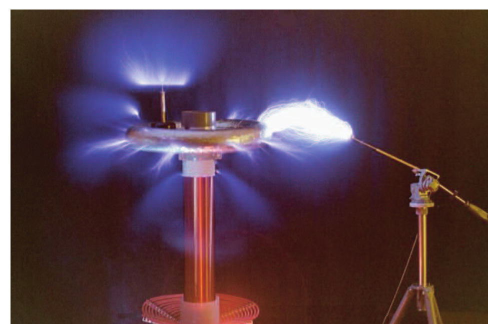
Làm cách nào để bạn có thể phân biệt một nam châm với thanh kim loại không từ tính có cùng kích thước và chất liệu mà không dùng một phương tiện nào khác?

* *

Trong tầng hầm của một ngôi nhà có 3 công tắc điện của 3 đèn tròn ở tầng 1. Bạn ở tầng







HÌNH 23 Sơ đồ, thiết bị và sự vận hành của một cuộn Tesla, bao gồm tia lửa điện và sự phóng điện hoa (photographs © Robert Billon).

hầm và chỉ được lên tầng 1 một lần. Làm cách nào để bạn tìm ra công tắc nào của đèn nào? Câu đố 39 s

* *

Làm cách nào để nối một đèn tròn với mạch chính và 3 công tắc sao cho có thể bật đèn từ một công tắc bất kỳ và tắt đèn bằng một công tắc bất kỳ khác? Và trường hợp có 4 công tắc? Không ai tôn trọng một nhà vật lý có thể viết phương trình Maxwell nhưng lại không thể giải được bài toán nhỏ bé này. Câu đố 40 s

* *

Thiết bị gia dụng đầu tiên được thiết kế để tạo ra dòng điện là một máy ma sát lớn. Rồi đến năm 1799 Alessandro Volta (b. 1745 Como, d. 1827 Como) phát minh một thiết bị mới để tạo ra điện và gọi nó là *pile*; ngày nay phần tử cơ bản của nó được gọi là một *pin (volta)*, *pin sơ cấp* * hay ít chính xác hơn là *pin*. (Nói một cách chính xác, pin là một tập hợp các 'tế bào', như ta thấy trong xe hơi.) Pin Volta dựa trên các quá trình hoá học; chúng cung cấp dòng điện mạnh hơn, kích thước nhỏ hơn và dễ thao tác hơn máy phát tĩnh điện. Việc phát minh ra pin đã làm thay đổi sự nghiên cứu về điện sâu sắc đến nỗi Volta nổi tiếng khắp thế giới. Sau cùng, một nguồn điện đơn giản và tin cậy, phải tiện dụng trong các thí nghiệm; khác với các máy ma sát, pin thì gọn gàng, hoạt động trong mọi điều kiện thời tiết và không gây ra tiếng ồn.

* *Pin thứ cấp* là pin sạc.



HÌNH 24 Hiệu ứng ở một sân chơi thông thường (© Evan Keller).

Một trái táo, một củ khoai hay một trái chanh với 1 mảnh đồng và 1 mảnh kẽm gắn vào nó sẽ tạo thành một pin volta đơn giản nhất. Nó cung cấp một hiệu thế khoảng 1 V và có thể sử dụng để chạy đồng hồ số hay tạo ra tiếng click trong tai nghe. Volta cũng là người khám phá 'định luật' điện lượng $q = CU$ đối với tụ điện (C là điện dung và U là hiệu thế) và là người phát minh điện nghiệm tụ điện có độ nhạy cao. Ông là một người khiêm tốn. Đơn vị hiệu thế hay 'điện áp', như Volta thường gọi, được dựa theo tên ông. 'Pin' là một số lớn các 'tế bào' volta; thuật ngữ này phát sinh từ việc sử dụng từ xa xưa, với mục đích thuần tuý quân sự.* Một pin trong mobile phone chỉ là một sự thay thế phức tạp cho nhiều trái chanh hay táo.

* *

Pin Volta có trong mọi tế bào sinh vật. Đối với halobacteria, pin volta nội có tầm quan trọng mang tính sống còn. Sống trong nước mặn, các pin volta nội giúp chúng thoát chết do hiện tượng thẩm thấu.

* *

Điều gì xảy ra trong Hình 24? Tại sao đa số các hình như vậy được chụp khi thời tiết tốt
Câu đố 42 d và với trẻ em tóc vàng?

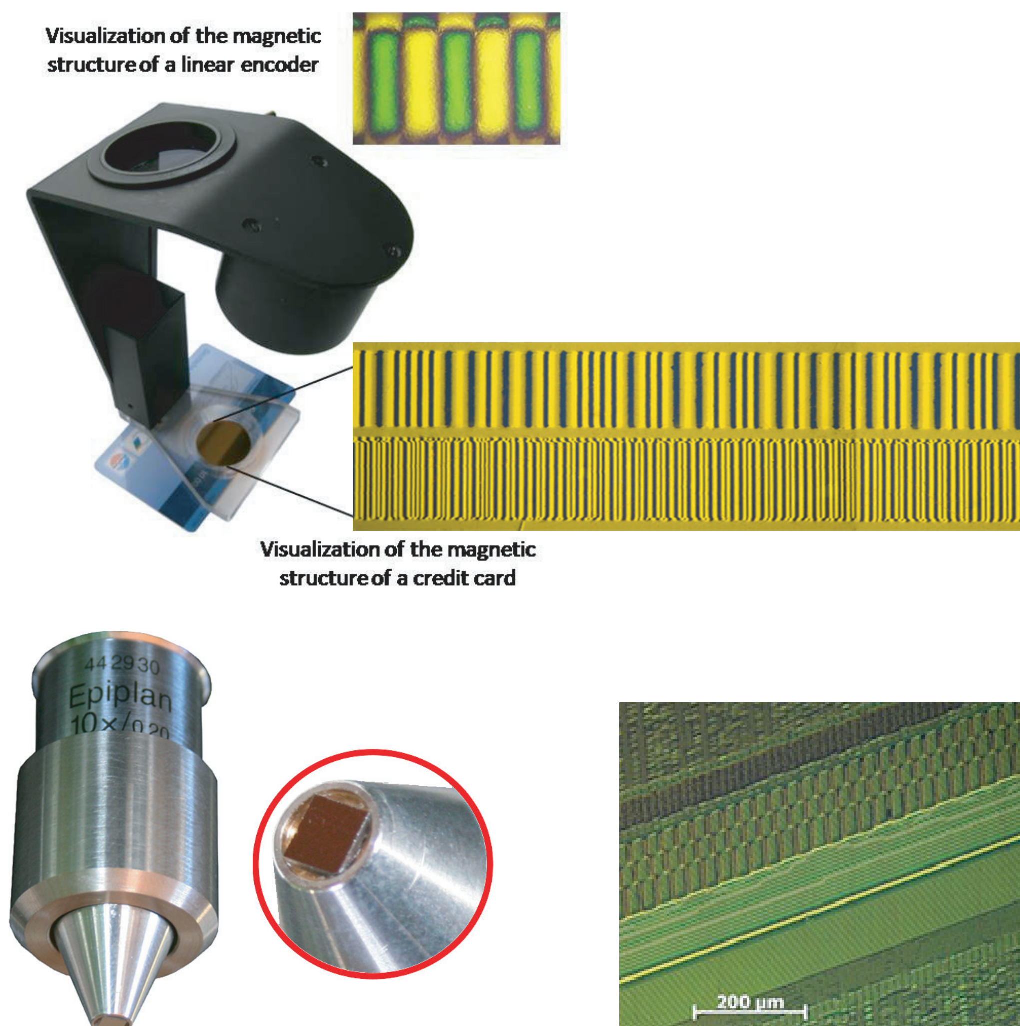
* *

PC hay điện thoại có thể liên lạc mà không cần dây nhờ sử dụng sóng vô tuyến. Tại sao các thiết bị gia dụng điện này không thể kiếm được *năng lượng* thông qua sóng vô tuyến,
Câu đố 43 s và như vậy ta bỏ được dây cáp truyền tải?

* *

Câu đố 41 e

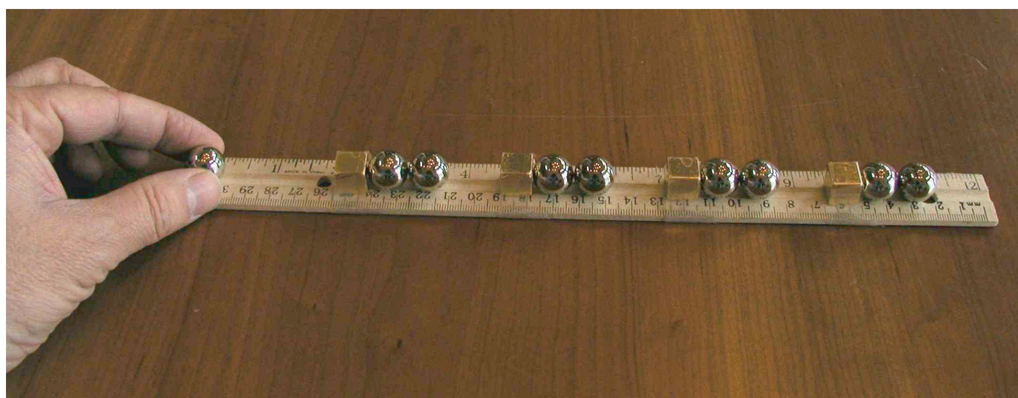
* Một pin gồm nhiều bản bằng kẽm, một miếng giấy thấm nhúng trong nước muối và một đồng xu, được chế tạo một cách dễ dàng ngay trong nhà và có thể kiểm tra bằng một máy tính bỏ túi hay một đồng hồ đeo tay.



HÌNH 25 Hình trên: cách nhìn thấy thông tin chứa trong dải từ của một thẻ tín dụng mà không cần dùng thiết bị điện tử gì ngoài 1 thấu kính, một kính phân cực và một lớp quang từ; hình dưới: cách nhìn thấy thông tin trên 1 đĩa cứng bằng cách thêm vào kính hiển vi phân cực một bản thuỷ tinh mạ đơn giản (© Matesy).

Lưu trữ bằng từ tính ít có vẻ huyền bí nếu ta hiển thị hoá nó. Hình 25 cho ta thấy cách làm khá đơn giản. Phương pháp này cũng cho phép ta quay film. Điều gì xảy ra bên trong kim loại khi nó bị từ hoá? Các bộ film đẹp mắt tại www.youtube.com/watch?v=HzxTqQ40wSU và www.youtube.com/watch?v=LFC6tbbMUaA, của Hendryk Richert of Matesy, cho ta thấy sự thay đổi của các vùng từ hoá khi đưa một nam châm đến gần một miếng kim loại. Các film này cũng được thực hiện với một kính hiển vi đơn giản cùng với sự giúp đỡ của một kính phân cực và một lớp yttrium sắt phủ lên thuỷ tinh.

* *



HÌNH 26 Súng trường Gauss, làm bằng vài viên bi thép và 4 nam châm gắn vào một cây thước bằng băng keo trong (© Simon Quellen Field).

Thực vật cũng phản ứng với từ trường. Đặc biệt, các từ trường khác nhau tạo ra các kiểu tăng trưởng khác nhau. Cơ chế có liên hệ với các hệ cryptochrome, vẫn còn được nghiên cứu.

* *

Nam châm có thể dùng để gia tốc các viên bi thép. Thí dụ nổi tiếng nhất là *súng trường Gauss* trong Hình 26. Nếu bi ngoài cùng bên trái được lăn nhẹ nhàng về phía nam châm đầu tiên thì viên thứ 3 sẽ bị đẩy mạnh. Quá trình lặp lại: tốc độ tăng lên dần dần từ viên thứ 5, đến viên thứ 7 và viên thứ 9. Thí nghiệm luôn luôn làm cho khán giả xem lần đầu tiên thích thú. Động lượng của viên bi sau cùng đến từ đâu? Câu đố 44 e

* *

Những vật không có tính đối xứng trái-phải được gọi là có tính *thủ đối xứng*, từ tiếng Hy Lạp có nghĩa là 'bàn tay'. Bạn có thể làm một cái gương *mà không* thay đổi tính thủ đối xứng tức là không 'đổi trái thành phải' hay không? Có 2 cách khác nhau. Câu đố 45 s

* *

Một cuộn băng keo là một vật nguy hiểm. Mở nhanh cuộn băng keo sẽ làm phát xạ ánh sáng (thông qua hiện tượng phát quang do ma sát) và một số tia lửa nhỏ. Người ta cho rằng nhiều vụ nổ trong hầm mỏ là do các tia lửa như vậy đốt cháy các hỗn hợp khí dễ cháy có trong hầm lúc đó.

* *

Lấy một phong bì, thấm ướt và dán lại. Sau khi để cho nó khô trong một ngày hay lâu hơn một chút, mở nó ra trong bóng tối. Tại chỗ 2 cạnh giấy bị tách ra, phong bì phát ra ánh sáng màu xanh. Tại sao? Có thể đẩy nhanh quá trình kiểm tra bằng cách dùng máy sấy tóc không? Câu đố 46 s

* *

Một điện tích đặt trong điện trường sẽ chịu tác dụng của một lực. Nói cách khác, điện



HÌNH 27 Một màn nguy hiểm, do Robert Krampf biểu diễn

trường sinh ra một *thế năng* đối với các điện tích. Vì năng lượng bảo toàn, điện thế năng có thể chuyển thành động năng hay nhiệt năng. Khả năng này cho phép ta làm điều gì? Và không cho ta làm điều gì?

Câu đố 47 e

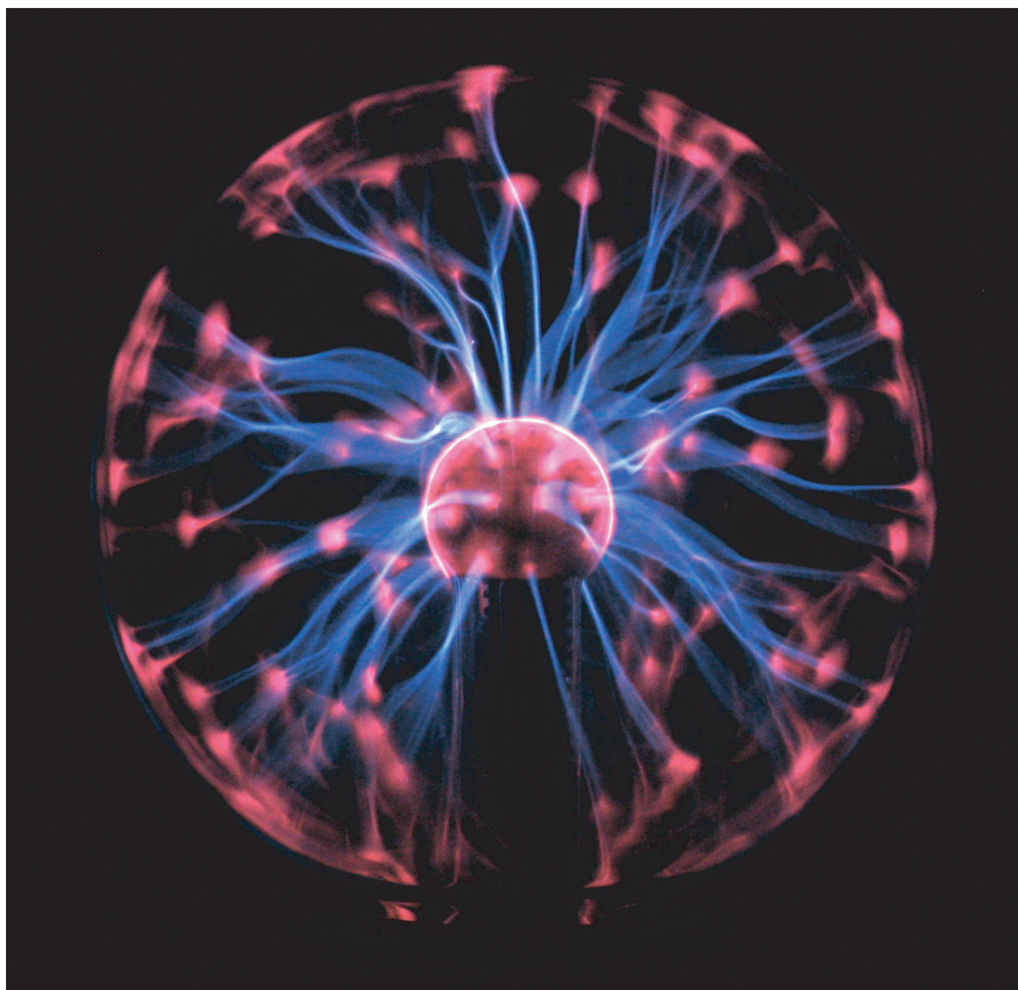
* *

Hiện tượng điện từ chứa đựng rất nhiều điều làm ta ngạc nhiên và có nhiều hiệu ứng có thể thực hiện ngay tại nhà. Internet có rất nhiều bài hướng dẫn cách chế tạo cuộn Tesla để tạo ra tia lửa điện, súng cuộn dây hay súng đường ray để bắn ra các vật, máy tĩnh điện để làm tóc dựng lên và nhiều hơn nữa. Nếu bạn thích làm thí nghiệm, chỉ cần tìm những thuật ngữ này. Một số người mưu sinh bằng cách biểu diễn các hiệu ứng cao thế trên sân khấu như các tia lửa điện dài phát ra từ ngón tay hay tóc. Một trường hợp nổi tiếng là Robert Krampf, còn gọi là 'Mr. Electricity', ở thehappyscientist.com. Đừng bắt chước những 'nghệ sĩ' này; hầu như người ta ít nói tới việc nhiều người trong các nghệ sĩ này đã gặp nhiều tai nạn nguy hiểm trong khi biểu diễn như vậy.
(© Wikimedia).

* *

Ta có thể nhìn thấy các điện tích chuyển động trong *hình cầu plasma*, làm bằng thuỷ tinh chứa helium, neon hay khí trơ khác có áp suất thấp, từ 0.1 tới 10 kPa, đặt dưới hiệu thế từ 5 tới 10 kV và thường có tần số từ 30 tới 40 kHz. Trong điều kiện này, nhiệt độ ion trong tia lửa điện là nhiệt độ phòng nên không gây ra nguy hiểm; nhiệt độ electron không thể cảm nhận được, khoảng 20 000 K. Đưa bàn tay tới gần quả cầu sẽ làm thay đổi điện thế và hình dạng các tia lửa điện. Nếu bạn đưa một bóng đèn huỳnh quang tới gần, nó sẽ phát sáng; và bằng cách di chuyển các ngón tay trên đèn ống, bạn có thể thay đổi vùng sáng 'một cách kỳ diệu'. Internet có rất nhiều thông tin về hình cầu này.

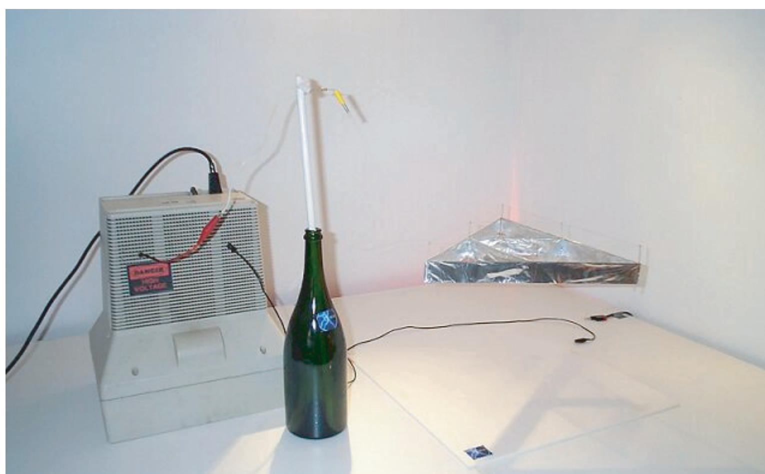
Xem 30



HÌNH 28 Một hình cầu thuỷ tinh có khí áp thấp, hay hình cầu plasma, đường kính 30 cm gắn liền với một máy phát điện cao thế, phát ra những tia lửa điện đặc trưng của nó. Trong một hình cầu plasma thông thường, các tia lửa điện di chuyển vòng quanh – chậm chạp và không đều. (© Philip Evans).

* *

Một hiệu thế cao có thể làm dòng điện chạy qua không khí vì không khí trở nên dẫn điện trong điện trường mạnh. Trong sự phóng điện đó, các phân tử không khí được làm cho chuyển động. Kết quả là ta có thể làm cho một vật gắn với một nguồn cao thế mạch động bị nhấc lên trong không khí, nếu ta tối ưu hoá chuyển động của không khí sao cho nó luôn luôn hướng xuống. Như vậy ta có thể sử dụng điện cao thế để gia tốc các phân tử không khí bị ion hoá theo một hướng và như vậy vật sẽ chuyển động theo hướng ngược lại, giống như nguyên lý của hoả tiễn. Một thí dụ được trình bày trong Hình 29, sử dụng nguồn điện của màn hình PC. (Coi chừng: nguy hiểm!) Nhiều website đã giải thích cách làm các máy nâng này ở nhà; trong Hình 29, chai và nến được dùng làm vật cách điện cao thế để giữ một trong 2 dây cao thế mảnh (không thấy trong hình) ở trên cao, tránh



HÌNH 29 Nâng một vật nhẹ – được bọc bằng giấy nhôm – bằng cách sử dụng sự phóng điện cao thế (© Jean-Louis Naudin at www.jlnlabs.org).

sự phóng điện trong môi trường hay cản trở chuyển động của máy nâng. Điều không may là đa số các website – không phải tất cả – đều giải thích sai về hiện tượng này. Như vậy các website này cho ta một cơ hội tốt để biết cách phân biệt giữa sự thật và sự suy đoán. Câu đố 48 e

* *

Các hiệu ứng điện sinh ra do ma sát hay các dòng chất lỏng thường nhỏ. Tuy vậy, trong thập niên 1990, nhiều tàu chở dầu đột nhiên biến mất. Thuỷ thủ đã rửa các tàu này bằng cách xịt nước biển lên thành tàu. Các tia nước làm tàu tích điện; sự phóng điện làm cho hơi dầu bốc cháy, làm tàu nổ và chìm xuống biển. Tai nạn tương tự cũng thường xảy ra khi chuyển hoá chất giữa các bồn chứa.

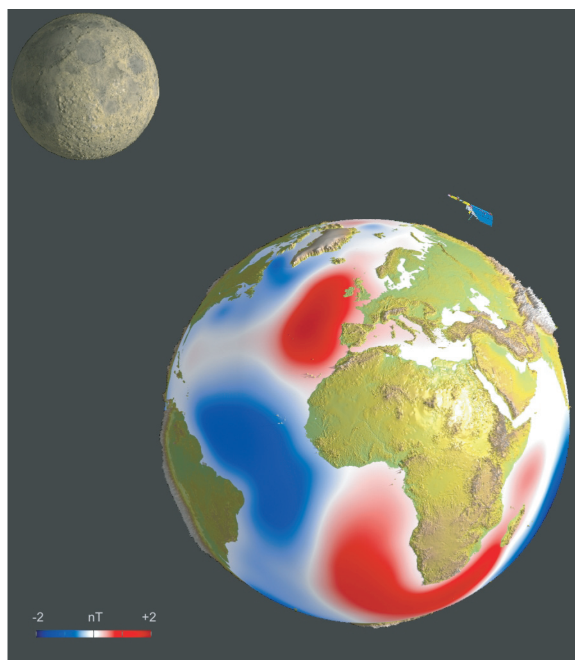
* *

Cọ xát một muỗng nhựa bằng một miếng vải len sẽ làm cho nó tích điện. Muỗng tích điện có thể hút tiêu ra khỏi hỗn hợp muối-tiêu bằng cách giữ muỗng trên hỗn hợp này. Tại sao? Câu đố 49 s

* *

Khi điện tích di chuyển, chúng sinh ra từ trường. Đặc biệt khi các ion trong Trái đất chuyển động do đối lưu sẽ sinh ra từ trường của Trái đất. Khi gió mặt trời làm ion ở thượng tầng khí quyển chuyển động, một cơn bão địa từ xuất hiện; cường độ trường của nó có thể lớn như của Trái đất. Năm 2003, người ta đã khám phá ra một cơ chế phụ. Khi thuỷ triều làm nước đại dương chuyển động thì các ion trong nước muối sinh ra một từ trường nhỏ; người ta có thể đo được nó bằng các từ kế có độ nhạy cao đặt trên các vệ tinh nhân tạo đi quanh Trái đất. Sau 2 năm đo đạc từ một vệ tinh nhỏ, người ta có thể làm một bộ film đẹp mắt về các dòng chảy đại dương. Hình 30 cho ta một ấn tượng mạnh. Xem 31

* *



HÌNH 30 Từ trường do thuỷ triều (© Stefan Maus).

Mặt trời ảnh hưởng mạnh đến địa từ trường. Hình 31 cho ta thấy rõ dòng các hạt mang điện từ Mặt trời, *gió Mặt trời*, ảnh hưởng như thế nào tới các trường tuyến và các quá trình xảy ra trong thượng tầng khí quyển. Hình 32 cho ta thấy các hiệu ứng này. Chi tiết của các quá trình hấp dẫn này vẫn đang được nghiên cứu.

* *

Các tên điện cực, chất điện giải, ion, anode và cathode do William Whewell (b. 1794 Lancaster, d. 1866 Cambridge) đưa ra theo yêu cầu của Michael Faraday; Faraday không có được nền học vấn bình thường và đã nhờ ông bạn Whewell tạo ra 2 từ Hy Lạp. Đối với anode và cathode, Whewell lấy các từ mà nghĩa đen của chúng là 'đường đi lên' và 'đường đi xuống'. Faraday đã phổ biến các thuật ngữ này cũng như các từ khác đã để cập ở trên.

* *

Xung ánh sáng ngắn nhất đã được tạo ra cho đến nay có thời gian là 100 as. Nó tương đương với bao nhiêu bước sóng của ánh sáng lục?

Câu đố 50 s

* *

Pin có thể sử dụng trong bao lâu? Ở đại học Oxford, trong Clarendon Hall, du khách có thể xem một chuông điện chạy pin reo vang từ năm 1840. Hai pin Zamboni, sinh ra một cao thế và một dòng điện nhỏ, đủ để giữ cho chuông reo. Nhiều thiết bị khác, sử dụng pile Zamboni, đã hoạt động ở Ý trên 100 năm.

* *

Tại sao ta thường thấy bóng nhà, bóng cây nhưng không bao giờ thấy bóng dây điện trên
Câu đố 51 s mặt đường?

* *

Làm cách nào để bạn có thể đo được tốc độ của đầu tia sét? Bạn có thể đoán được giá
Câu đố 52 s trị của nó cỡ nào không?

* *

Xem 32 Một trong những động cơ điện đơn giản nhất đã được Faraday khám phá vào năm 1831. Một nam châm treo trong thuỷ ngân sẽ quay quanh trục của nó nếu có một dòng điện chạy qua nó. (Xem Hình 33.) Ngoài ra, khi quay một nam châm, thiết bị (thường được gọi là bánh xe Barlow) cũng hoạt động như một máy phát điện; người ta đã thử tạo ra các dòng điện gia dụng bằng một hệ thống như vậy! Bạn có thể giải thích cách hoạt động
Câu đố 53 s của nó không?

Phiên bản mới của động cơ này dùng một pin, một dây dẫn, một nam châm samarium–cobalt dẫn điện và một đinh ốc. Kết quả được trình bày trong Hình 34.

* *

Xem 33 Từ trường của Trái đất có cường độ lưỡng cực là $7.8 \cdot 10^{22}$ A m^2. Nó cùng với khí quyển che chở cho chúng ta trước mối hiểm nguy của gió Mặt trời và các hạt bức xạ vũ trụ bằng cách làm lệch chúng sang 2 địa cực. Ngày nay, nếu không có từ trường bức xạ sẽ tăng mạnh trong các ngày nắng đẹp; trong quá khứ nếu không có từ trường thì sẽ không có sự tiến hoá của loài người. Ta có mặt trên Trái đất nhờ có từ trường. Hiện nay, từ trường giảm đi khoảng 5 % mỗi thế kỷ. Hình như đã có lúc nó biến mất trong 1500 năm; ta vẫn chưa rõ là điều này có làm gia tăng bức xạ vũ trụ chạm vào mặt đất hoặc là gió mặt trời có tự đảm nhận tác dụng che chắn hay không.

* *

So sánh điện với nước là một cách tìm hiểu điện tử học rất hay. Hình 35 cho ta một vài thí dụ mà ngay cả thiếu niên cũng có thể hiểu được. Bạn có thể điền thêm tương đương
Câu đố 54 s của cuộn dây và máy biến thế hay không?

Hình này cũng có *transistor*. Thiết bị này, giống như một bộ phận thuỷ lực, có thể được sử dụng để điều khiển một dòng điện lớn bằng một dòng điện nhỏ. Do đó, transistor có thể dùng làm một *công tắc* hay một *bộ khuếch đại*. Đây là lý do mà mọi mạch điện tử từ radio tới mobile phone và máy tính – đều dùng nhiều transistor. Một mobile phone hay máy tính hiện đại thường chứa nhiều triệu transistor, phần lớn được ghép chung trong một *mạch tích hợp*. Việc thiết kế các thiết bị này có riêng một ngành khoa học.

* *

Có một cách để chuyển phần tương tự trước đây sang hướng khác: nó có thể tạo ra một sự tương tự nhất quán về mặt toán học giữa mạch điện và trường liên tục. Mạch điện phải là một lưới vô hạn về mọi hướng không gian và được gọi là *sự rời rạc hoá mô phỏng*. Nếu bạn thích tìm hiểu thêm về thuật ngữ này, bạn có thể theo đuổi tới cùng. Chỉ cần tìm kiếm trên Internet.

* *

Ion quyển bao quanh Trái đất có tần số cộng hưởng là 7 Hz; vì vậy các dụng cụ khi đo ở tần số thấp luôn luôn nhận được tín hiệu mạnh ở tần số này. Bạn có thể giải thích giá
Câu đố 55 s
trị tần số này không?

* *

Hiệu ứng Kirlian, cho phép ta chụp được các tấm ảnh ngoạn mục, không phải là tính chất của đối tượng mà là kết quả của điện trường tác dụng thay đổi theo thời gian.

* *

Điện nhà thường là điện giao phiên. Nói cách khác, không có electron thực sự chạy trong
Trang 248
dây điện; vì tốc độ trôi của electron trong dây đồng chỉ ở mức 1 μm/s, electron chỉ di chuyển tới lui trong phạm vi 20 nm. Không có gì đi vào/ra khỏi dây điện! Tại sao các
Câu đố 56 e
công ty điện lại đòi dòng tiền thực thay vì chỉ cần có chuyển động tới lui của tiền là đủ?

* *

Electron và proton có cùng điện tích không? Thí nghiệm chứng tỏ rằng các giá trị này bằng nhau trong phạm vi ít nhất là 20 chữ số. Bạn có thể kiểm tra điều này bằng cách
Câu đố 57 ny
nào?

* *

Điện tích độc lập với vận tốc ngay cả trường hợp gần bằng với tốc độ ánh sáng. Bạn
Câu đố 58 ny
chứng minh điều này được không?

* *

Nam châm có thể được sử dụng, ngay cả trẻ em, để leo lên tường thép. Hãy xem trang www.physicslessons.com/TPNN.htm.

* *

Nam châm có thể được sử dụng để làm một cái giường nổi hay không? Năm 2006, một kiến trúc sư Hoà Lan đưa ra công chúng một mô hình giường nổi thu nhỏ khá đẹp, như trong hình bên trái của Hình 36, được giữ cho lơ lửng trong không khí bằng nam châm vĩnh cửu. Để giường không rơi ra ngoài, nó được cột chặt vào mặt đất bằng 4 sợi dây. Trên website của mình, kiến trúc sư cũng cung cấp một phiên bản cùng kiểu kích thước bằng giường thật với giá trên 1 triệu USD. Tuy vậy, hai tấm hình của giường được phóng đại không phải là hình chụp mà được vẽ bằng máy tính vì chiếc giường trong mơ này
Câu đố 59 s
không có thật. Tại sao?

* *

Từ trường cực mạnh có các hiệu ứng kỳ lạ. Với trường 10^{10} T, chân không có tính lưỡng
Trang 112
chiết, photon có thể tách ra rồi kết tụ lại và nguyên tử bị nén lại. Người ta ước tính, theo mỗi phương, nguyên tử hydrogen sẽ nhỏ đi 200 lần. May mắn thay điều kiện này chỉ có ở các sao neutron đặc biệt, được gọi là *sao từ*.

* *

'Định luật' Ohm, thí nghiệm mà đối với hầu hết các vật liệu thì dòng điện I tỷ lệ với hiệu

thế U, tức là

$$U \sim I \quad \text{or} \quad \frac{U}{I} = R = \text{const.} \tag{24}$$

bắt nguồn từ một giáo viên trung học. Georg Simon Ohm (b. 1789 Erlangen, d. 1854 Munich), là giáo viên trung học và vật lý gia. Ông đã nghiên cứu kỹ tỷ lệ này đối với nhiều vật liệu; trong thời kỳ đó, việc đo đạc như vậy rất khó thực hiện. Ohm đã khám phá ra rằng tính tỷ lệ áp dụng được cho nhiều chất ở cường độ dòng điện khác nhau, miễn là nhiệt độ, mật độ vật liệu và mật độ điện tích không đổi. Sự tỷ lệ sẽ không còn khi trong trường hợp phóng điện hay trong chất bán dẫn. Nhưng nó đúng trong phần lớn các chất dẫn điện rắn đặc biệt là kim loại.

Nỗ lực của Ohm chỉ được ghi nhận vào cuối đời và lần hồi ông được phong làm giáo sư đại học kỹ thuật Munich. Sau này đơn vị của *điện trở R* – là tên chính thức của hệ số tỷ lệ giữa hiệu thế, đo bằng *volt*, và cường độ dòng điện, đo bằng *ampere* – được đặt theo tên của ông. Một *ohm* được định nghĩa và viết là 1 V/A=1 Ω.

Ngày nay, việc đo điện trở rất dễ. Gần đây, người ta đã đo được điện trở của một Xem 34 nguyên tử đơn lẻ: trong trường hợp của xenon hoá ra là nó vào khoảng 10^5 Ω. Người ta cũng nhận thấy rằng các nguyên tử chì dẫn điện tốt hơn các nguyên tử vàng 10 lần. Bạn Câu đố 60 ny có thể tìm ra nguyên nhân không?

* *

Trong nhiều thập niên, 'định luật' Ohm đã được dạy trong trường trung học cho đến khi mọi học sinh không còn quan tâm đến vấn đề này nữa. Thí dụ như công suất điện P chuyển đổi thành nhiệt trong một điện trở là

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} . \tag{25}$$

Quyển I, trang 353 Ta đã nói đến hệ thức này trước kia; hãy nhìn lại một chút. Bây giờ bạn đã biết mọi điều cần biết về chủ đề này. Quan trọng nhất là biểu thức công suất của điện trở này mô tả sự toả nhiệt của dòng điện thí dụ như sự toả nhiệt trong lò nướng hiện đại hay trong máy pha cà phê.

* *

'Định luật' Ohm, trông có vẻ đơn giản nhưng có nhiều tính chất toán học thú vị. Thí dụ như vào năm 1958, vật lý gia Hoà Lan J.L. van der Pauw đã chứng minh được một công thức kỳ lạ và một phương pháp cho phép ta đo được điện trở suất ρ của các lớp vật liệu có hình dạng *bất kỳ*. Ta chỉ cần gắn 4 sợi dây vàng vào bất cứ chỗ nào trên biên của lớp vật liệu đó. Điện trở suất được tính theo biểu thức trong Hình 37. Bạn có thể tưởng Câu đố 61 d tượng ra cách chứng minh công thức này không? (Đây là một bài toán khó). Công thức này đã làm giảm gánh nặng công việc trong phòng thí nghiệm trên khắp thế giới đi rất nhiều; trước khi công thức này ra đời, trong mỗi thí nghiệm, các nhà nghiên cứu đã phải tạo ra các mẫu riêng biệt của vật liệu mà họ đang nghiên cứu để đo điện trở suất của nó.

* *

Có một cách làm ra tiền lương thiện là sản xuất và bán điện. Năm 1964, Fletcher Osterle

đã phát minh một phương pháp hoàn toàn mới. Phương pháp này đã được trình diễn
Xem 35 trước công chúng trong một thí nghiệm ngoạn mục năm 2003. Larry Kostiuk và cộng sự đã lấy một bản thuỷ tinh 2 bên có phủ lớp dẫn điện và khắc hàng trăm ngàn rãnh nhỏ trên đó: 450 000 vi kênh, đường kính mỗi rãnh khoảng 15 µm trên bản thuỷ tinh đường kính 2 cm. Khi cho nước chảy qua các rãnh, một dòng điện được sinh ra. Các mối tiếp xúc ở 2 bản dẫn điện có thể được sử dụng như các lớp tiếp xúc trong pin và đã sinh ra một dòng điện 1.5 µA.

Thiết bị đơn giản này sử dụng một hiệu ứng mà thuỷ tinh, giống như các chất cách điện khác, được phủ một lớp điện tích và được nhúng chìm trong chất lỏng. Bạn có biết
Câu đố 62 s tại sao lại có dòng điện sinh ra hay không? Điều không may là hiệu suất của cách tạo ra điện này chỉ vào khoảng 1 %, khiến cho nó ít được quan tâm hơn cái bánh xe có khía đơn giản của dynamo.

* *

Để xem các phim hoạt hình đẹp mắt về điện và từ trường, hãy ghé website web.mit.edu/8.02t/www/802TEAL3D/visualizations.

* *

Tĩnh điện học đôi khi có tính phản trực giác. Lấy một hình cầu dẫn điện cô lập bán kính R và một điện tích điểm đặt bên ngoài hình cầu, cả 2 có điện tích cùng dấu. Mặc dù điện tích cùng dấu đẩy nhau, khi ở gần quả cầu, điện tích điểm bị hút vào quả cầu. Tại sao
Câu đố 63 s như vậy? Ở khoảng cách d bằng bao nhiêu thì chúng đẩy nhau?

* *

Chất bán dẫn Gallium arsenide có thể được tạo mẫu bằng chấm lượng tử và *tiếp xúc điểm*. Các cấu trúc này cho phép ta đếm được từng electron đơn lẻ. Việc này đã được nhiều phòng thí nghiệm trên thế giới thường xuyên thực hiện.

* *

Điện tích của 2 tụ điện ghép nối tiếp thường không bằng nhau, như lý thuyết thông
Xem 36 thường đã phát biểu. Đối với các tụ điện hoàn hảo, không rò điện, tỷ số 2 hiệu thế tỷ lệ với nghịch đảo của tỷ số 2 điện dung $V_1/V_2 = C_2/C_1$, do điện tích 2 tụ bằng nhau. Điều này dễ dàng suy ra từ Hình 38. Tuy vậy, trong thực tế điều này chỉ đúng trong thời gian
Câu đố 64 s từ vài phút đến vài chục phút. Tại sao?

* *

Trên các đường dây điện cao thế thường có gắn các đèn neon nhỏ gọi là *balisor*, phát sáng khi có dòng điện chạy qua, như trong Hình 39. Bạn có thể thấy chúng từ tàu điện
Câu đố 65 s khi đi từ Paris tới phi trường Roissy. Chúng hoạt động như thế nào?

* *

Trong những ngày mưa hay có sương mù, các đường dây điện cao thế thường phát ra
Câu đố 66 s tiếng ồn; có lúc chúng còn *ca hát* nữa. Điều gì đã xảy ra ở đây?

* *

Hệ số phân cực điện là tính chất của vật chất dẫn tới việc làm lệch dòng nước của một

Trang 16 cái lược tích điện. Nó được định nghĩa là cường độ của lưỡng cực điện do điện trường ngoài gây ra. Định nghĩa này chỉ là cách giải thích một cách đơn giản hiện tượng các vật tích điện khi chịu tác dụng của điện trường ngoài. Ngoài ra, cách thức cụ thể làm cho lược tích điện khi bị cọ xát, tức là hiện tượng *điện hoá*, vẫn còn là điều bí mật trong khoa học hiện đại.

* *

Ta không thể biến đổi một từ trường thuần tuý thành một điện trường thuần tuý bằng cách thay đổi hệ quy chiếu. Trạng thái tốt nhất mà ta có thể đạt được là trạng thái tương tự với một *sự hoà trộn cân bằng* của từ trường và điện trường. Bạn có thể cung cấp lập luận để giải thích cho mối liên hệ này hay không? Câu đố 67 s

* *

Tính điện trở của một lưới vô hạn là một trong các bài toán 'hấp dẫn' nhất trong điện học, như ta đã thấy trong Hình 40. Bạn có thể tìm ra lời giải không? Câu đố 68 ny

* *

Mỗi giá trị giới hạn trong thiên nhiên đều có một hệ thức bất định tương ứng. Điều này cũng đúng đối với điện và giới hạn dưới của điện tích. Thật vậy, có một hệ thức bất định cho tụ điện, có dạng

$$\Delta C \, \Delta U \geqslant e \tag{26}$$

trong đó e là điện tích dương, C là điện dung và U là hiệu thế. Cũng có một hệ thức bất định giữa cường độ I và thời gian t

$$\Delta I \, \Delta t \geqslant e \, . \tag{27}$$

Xem 37 Cả hai hệ thức này đều có trong sách.

* *

Khác với các tính chất từ, các tính chất điện của vật liệu thay đổi nhiều theo tần số của điện trường ngoài. Hình 41 minh hoạ cho sự thay đổi của độ điện thẩm theo tần số và các quá trình liên quan đến tính chất đó tại các tần số đặc biệt. Đồ thị chỉ có tính chất khái lược: nó biểu thị các đặc điểm của vật liệu khác nhau kết hợp với nhau. Trong thiên nhiên phần thực và phần ảo của độ điện thẩm liên hệ với nhau qua *hệ thức Kramers-Kronig*, một hệ thức quan trọng đối với nhiều chủ đề về vật liệu có liên quan tới hiện tượng sóng. Hai đường cong trong đồ thị không phù hợp với chúng một cách hoàn toàn.

* *

Nếu một trục quay thì người ta có thể gắn nam châm vào một đầu của nó. Ta có thể tạo ra một tốc kế cực rẻ bằng một nam châm quay như vậy. Ta làm điều đó như thế nào? Câu đố 69 e

* *

Trong bài báo năm 1861 của Maxwell về Điện từ học, ông đã thêm Hình 42 là một mô hình điện từ trường của chân không. Sai lầm lớn nhất của mô hình chân không này là gì? Câu đố 70 s

* *

Xem 38
Người ta có thể làm các mạch tích hợp dựa trên silic ngày càng nhỏ hơn, trong bao lâu nữa? Có nhiều ý kiến về vấn đề này. Những tiên đoán lạc quan thường gọi là 'định luật' Moore, được thay thế bởi các tiên đoán từ năm 2011 trở đi, là sự thu nhỏ kích thước sẽ trở nên ít đi do giá thành thiết bị tăng cao. Thí dụ như các máy wafer stepper thế hệ kế tiếp, máy đắt tiền nhất trong việc sản xuất các chip silic, phải hoạt động với tia tử ngoại – thường là 13 nm – để tạo được transistor có kích thước nhỏ. Không khí hấp thu các tia có bước sóng này và ta phải dùng gương thay cho thấu kính. Ta chưa rõ điều này có khả thi về mặt kỹ thuật và kinh tế hay không. Tương lai sẽ trả lời.

* *

Vào thập niên 1990, hình ảnh hiển vi cho thấy một điều kỳ lạ là răng nanh của kỳ lân biển có nhiều đầu dây thần kinh. Như vậy răng nanh có thể là một cơ quan cảm giác. Tuy vậy, người ta chưa hiểu rõ và chính xác về công dụng của cơ quan này. Làm thế nào để bạn tìm ra bí mật này?
Câu đố 71 s

Tóm tắt: ba điều cơ bản về Điện học

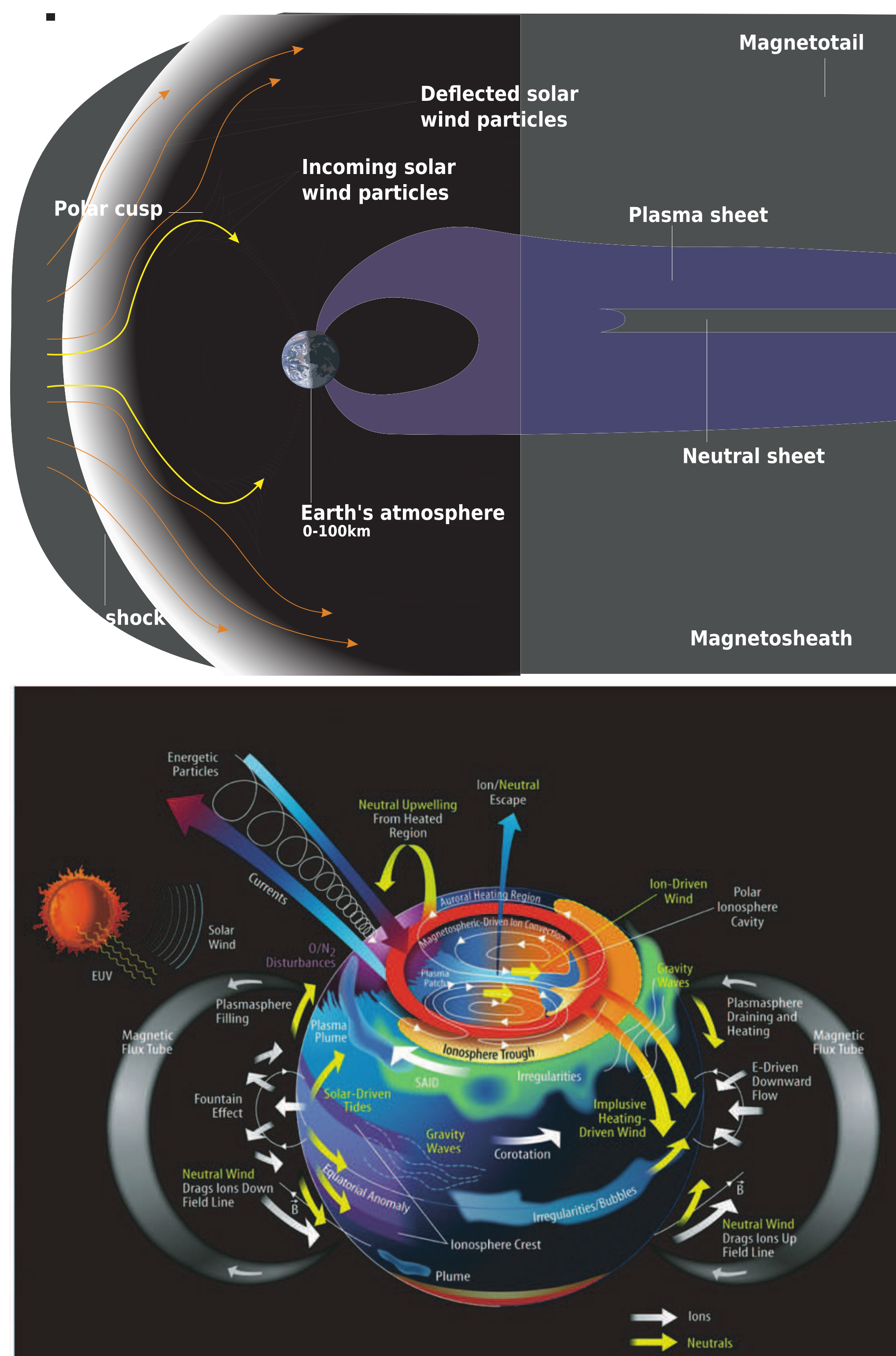
Các thí nghiệm mà ta đã mô tả từ trước tới nay cho thấy 3 kết quả cơ bản:

- ▷ Điện tích tác dụng lực lên điện tích khác.
- ▷ Điện tích được bảo toàn.
- ▷ Điện tích giống như vật chất, chuyển động chậm hơn ánh sáng.

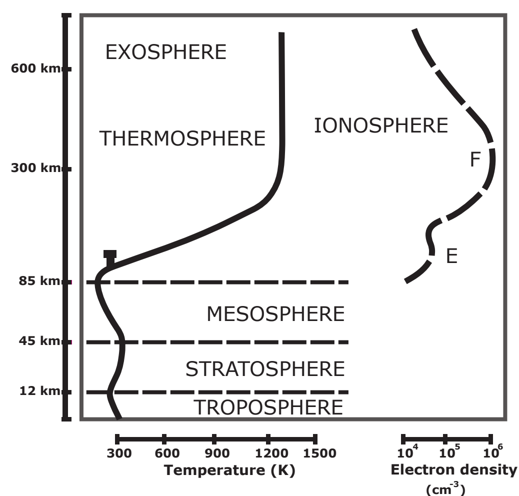
Xem 39
Từ 3 mệnh đề này – định nghĩa điện tích, bảo toàn điện tích và tính bất biến của tốc độ ánh sáng – ta có thể suy ra nội dung của Điện động lực học cổ điển. Đặc biệt, ta có thể suy ra Lagrangian của Điện động lực học và các phương trình trường của Maxwell từ 3 mệnh đề này; chúng mô tả phương thức điện tích *tạo ra* điện trường, từ trường hay điện từ trường. Ta cũng có thể suy ra lực Lorentz; nó mô tả mối liên hệ giữa chuyển động của vật mang điện và chuyển động của điện từ trường.

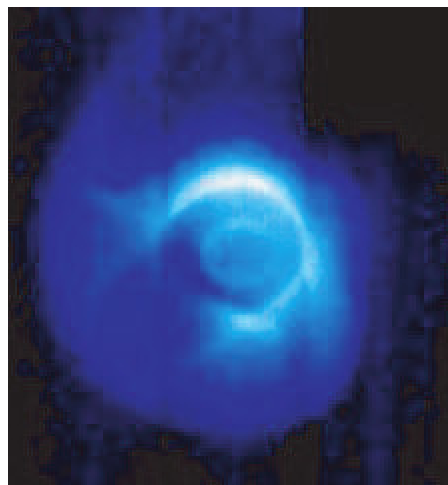
Xem 39
Xem 40
Ta có thể chứng minh mối liên hệ giữa định luật bảo toàn điện tích và các phương trình trường bằng toán học; chúng ta không trình bày nó ở đây vì công cụ đại số có phần phức tạp. Mối liên hệ quan trọng mà ta cần nhớ là: toàn bộ Điện động lực học đều được xây dựng từ các tính chất của điện tích mà ta đã tìm hiểu từ trước tới nay.



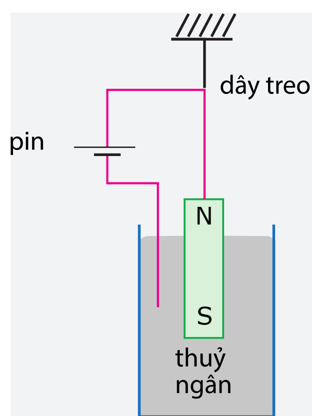


HÌNH 31 Hình trên: tương tác giữa gió mặt trời và địa từ trường. Hình dưới: ion-quyển của Trái đất (courtesy NASA).

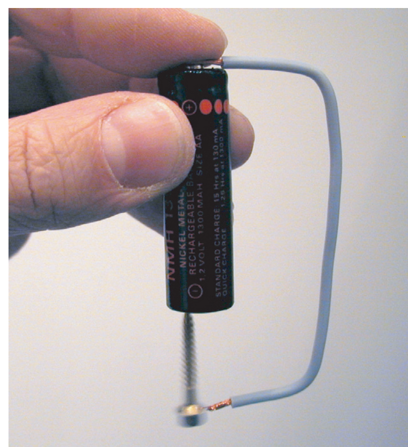




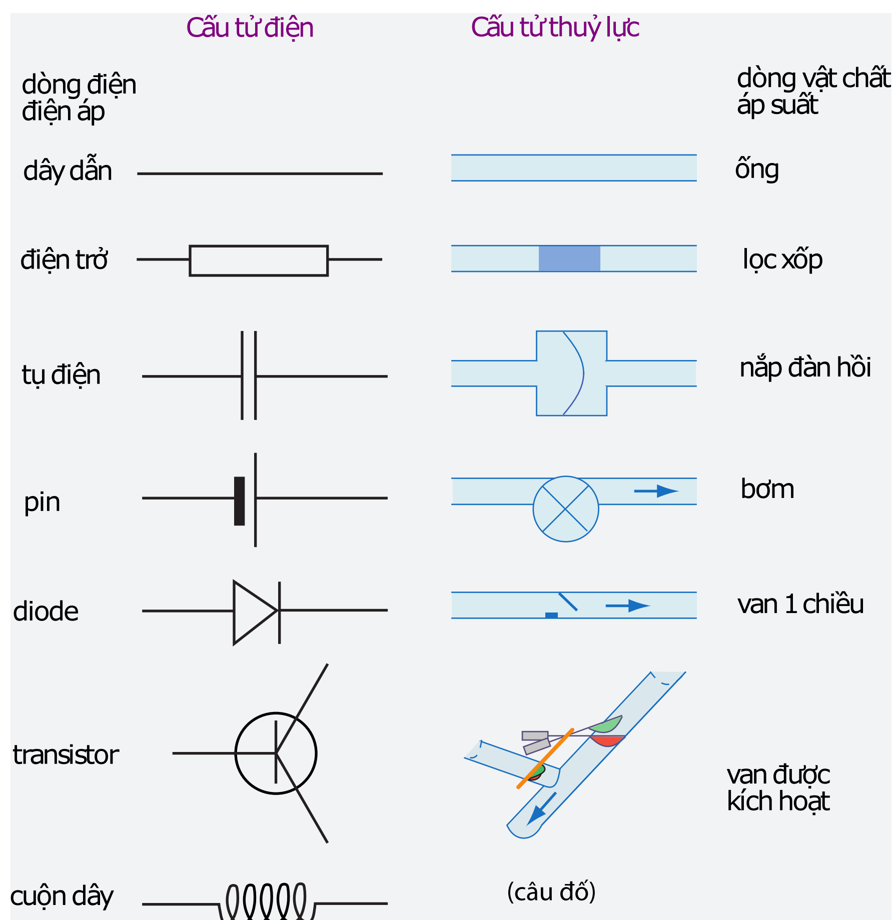
HÌNH 32 Tên của các tầng khí quyển của Trái đất và hình của plasma lạnh hay từ quyển bao quanh Trái đất, chụp bằng tia tử ngoại xa cho thấy 2 vòng ở đáy mỗi cực quang và một đuôi hướng về phía Mặt trời (courtesy NASA).



HÌNH 33 Một động cơ đơn cực.



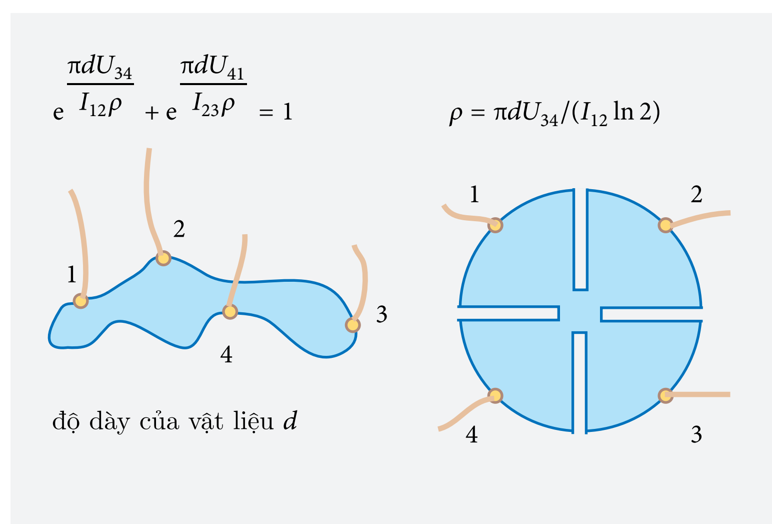
HÌNH 34 Động cơ đơn giản nhất (© Stefan Kluge).



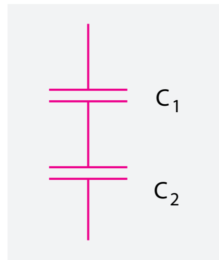
HÌNH 35 Sự tương đương giữa điện tử học và dòng nước.



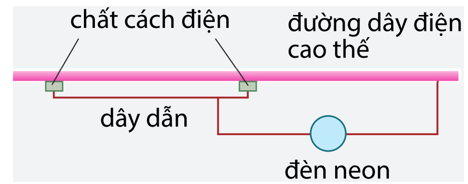
HÌNH 36 Bài toán giường lơ lửng: trong khi mô hình bên trái, có chiều dài khoảng 40 cm và lơ lửng trên độ cao vài cm, đã có và được nhiều người ngưỡng mộ thì phiên bản phóng đại bằng kích thước thật bên phải lại không thể thực hiện được (© Janjaap Ruissenaars at www.UniverseArchitecture.com). Hai hình bên phải không phải là hình chụp: chúng chỉ biểu thị cho một giấc mơ chứ không phải là hiện thực. Tại sao?



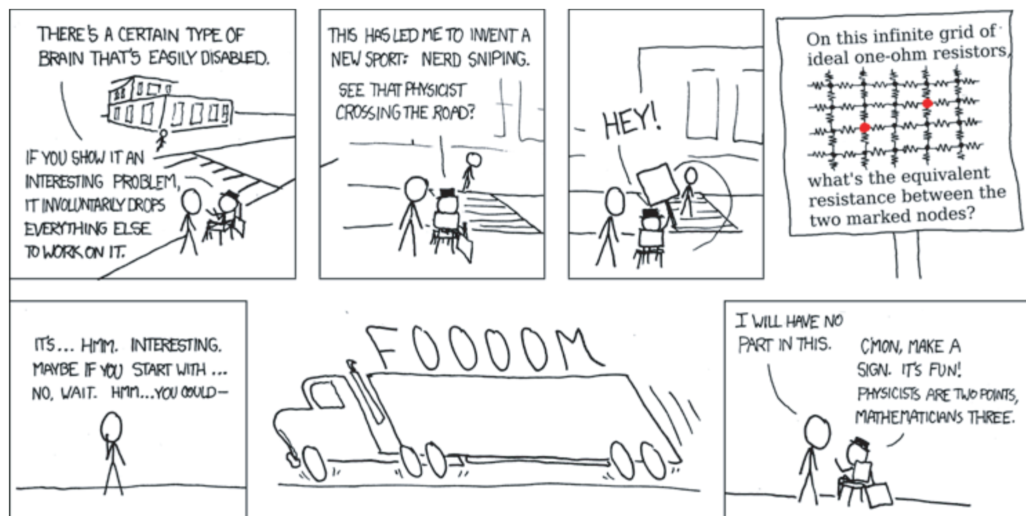
HÌNH 37 Bạn có thể tìm ra công thức điện trở suất ρ của một lớp dẫn điện thuần nhất hình dạng bất kỳ (hình bên trái) hay hình có dạng đối xứng đặc biệt (hình bên phải) của Van der Pauw hay không?



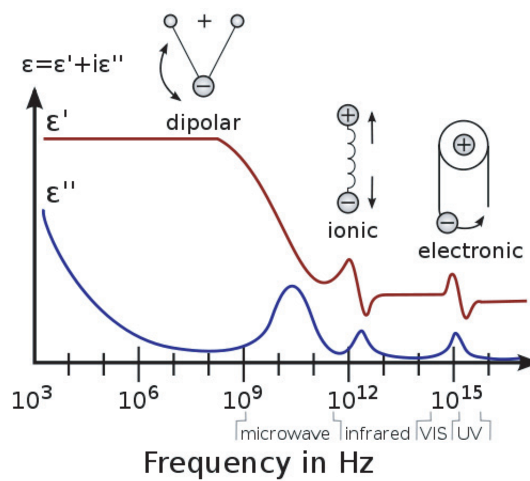
HÌNH 38 Tụ điện ghép nối tiếp.



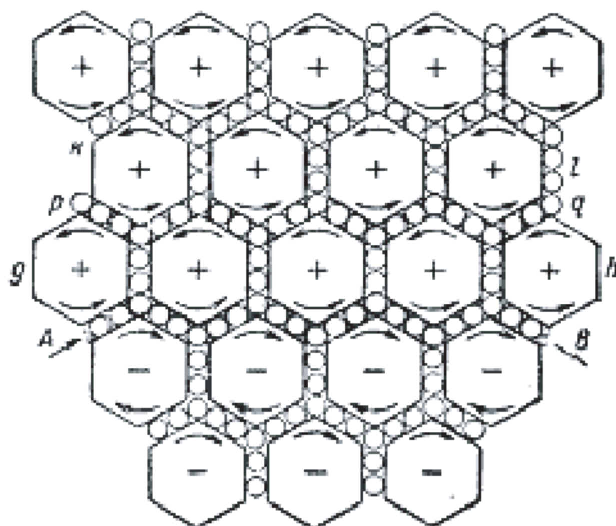
HÌNH 39 Một đèn neon treo trên dây điện cao thế.



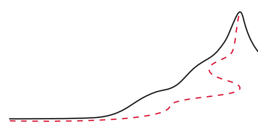
HÌNH 40 Một bài toán điện khó (© Randall Munroe).



HÌNH 41 Sự thay đổi của độ điện thẩm (phần thực và phần ảo) theo tần số đối với vật liệu trừu tượng (hỗn hợp) và các quá trình liên quan, trong các khoảng tần số khác nhau (© Kenneth Mauritz).



HÌNH 42 Một mô hình chân không thất bại của Maxwell.



Chương 2

Mô tả sự tiến hoá của điện từ trường

Từ trường và điện trường thay đổi, hay nói đơn giản, chúng chuyển động. Chính xác thì điều này xảy ra như thế nào? Vào thập niên 1860, James Clerk Maxwell đã thu thập tất cả các kiến thức thực nghiệm mà ông đã tìm được và tìm ra cách mô tả ** chính xác chuyển động của điện từ trường. Hai mươi năm sau đó, Heaviside và Hertz đã chắt lọc các ý chính của Maxwell từ những bài báo khó hiểu của ông được viết bằng các ký hiệu quaternion khác thường và tổng hợp thành *Thuyết trường điện từ Maxwell* của họ.

Quyển IV, trang 233

Chuyển động của điện từ trường được mô tả bằng một tập hợp các phương trình tiến hoá. Trong cách mô tả tương đối tính, tập hợp này gồm *2* phương trình, còn trường hợp không tương đối tính có *4* phương trình. Mọi sự kiện quan sát được trong Điện động lực học cổ điển đều là kết quả của các phương trình này. Đúng ra nếu các hiệu ứng lượng tử được tính đến một cách đầy đủ, thì người ta có thể mô tả *mọi* hiệu ứng điện từ trong thiên nhiên.

Phương trình trường thứ nhất của Điện động lực học

Phương trình trường tương đối tính đầu tiên của Điện động lực học biểu diễn cho mệnh đề sau: điện từ trường *bắt nguồn từ các điện tích* chứ không tại một nơi nào khác. Ta có thể viết ***

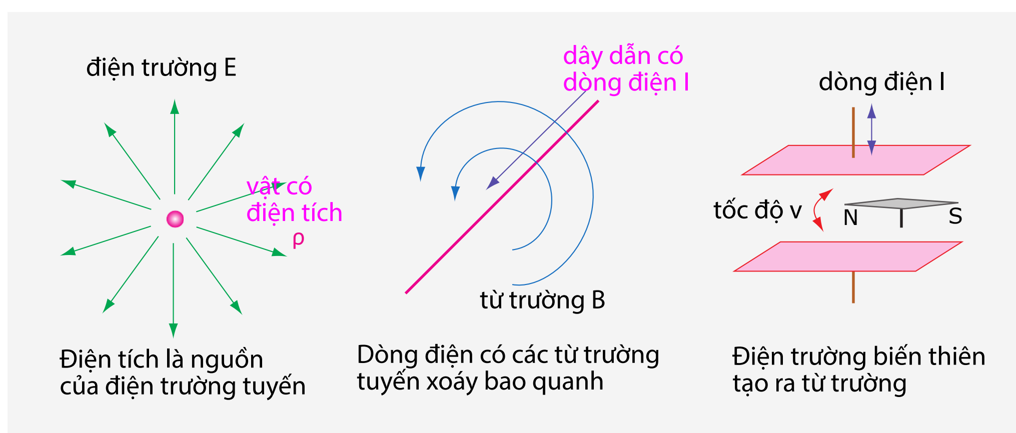
$$d\boldsymbol{F} = j\mu_0$$

hay

$$\boldsymbol{\nabla}\cdot\boldsymbol{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \quad \text{và} \quad \boldsymbol{\nabla}\times\boldsymbol{B} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial t} = \mu_0 \boldsymbol{j}\ . \qquad (28)$$

** James Clerk Maxwell (b. 1831 Edinburgh, d. 1879 Cambridge) là một trong các vật lý gia quan trọng và có nhiều ảnh hưởng nhất. Ông đặt nền tảng cho Điện từ học bằng cách thống nhất điện và từ về mặt lý thuyết như đã mô tả trong chương này. Công trình của ông về Nhiệt động lực học là công trình quan trọng thứ hai của ông. Ngoài ra, ông còn nghiên cứu lý thuyết về màu sắc, phát triển tam giác màu, là một trong những người đầu tiên tạo ra ảnh màu. Ông được nhiều người xem là một vật lý gia vĩ đại nhất mọi thời. Cả 'Clerk' và 'Maxwell' đều là họ của ông.

*** Có một chút tự do trong cách viết các phương trình vì các tác giả khác nhau có cách kết hợp các hằng số c và μ_0 vào định nghĩa của các đại lượng F, A và j khác nhau. Dạng được viết ở đây là phiên bản phổ biến nhất. Ta có thể tổng quát hoá các phương trình này trong trường hợp điện tích không ở trong chân không mà được đặt trong vật chất. Ta sẽ không tìm hiểu các trường hợp này ở đây vì ngay sau đây chúng ta sẽ tìm hiểu trường hợp có vẻ như đặc biệt của chân không nhưng trong thực tế nó sẽ mô tả được mọi điều trong thiên nhiên.



HÌNH 43 Phương trình trường Maxwell 1 của Điện động lực học được minh hoạ bằng 3 hình vẽ.

Một trong hai cách viết * phương trình Maxwell 1 tạo ra phát biểu đơn giản sau:

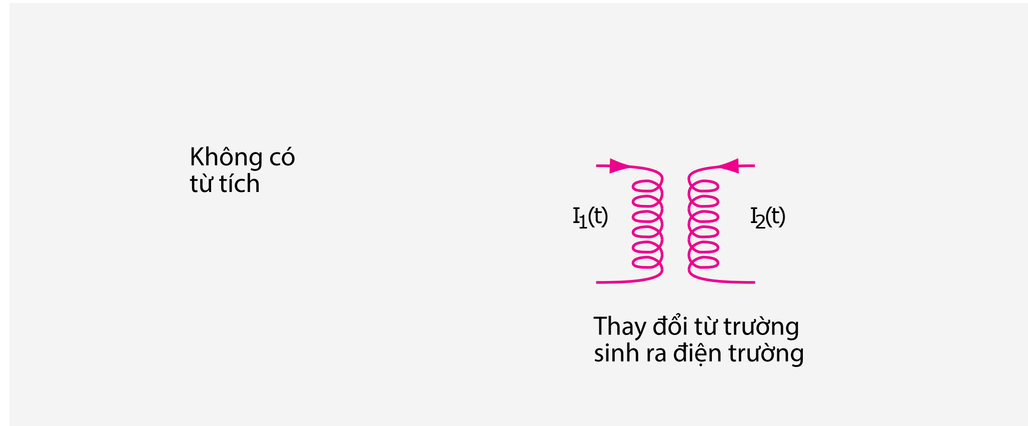
▷ *Điện tích mang theo điện trường.*

Phương trình đầu tiên này mô tả lực hút các hạt bụi của các vật tích điện và hoạt động của các nam châm điện.

Phương trình này tương đương với 3 thí nghiệm cơ bản được minh hoạ trong Hình 43: *'định luật' Coulomb* về lực hút và đẩy của các điện tích, *'định luật' Ampère* về lực hút và đẩy của các dây có dòng điện chạy qua và *phần bổ sung Maxwell*, thí nghiệm về hiệu ứng 'sự thay đổi của điện trường sinh ra từ trường'. Nói chính xác hơn, nếu ta biết vị trí điện tích và cách chuyển động của chúng thì ta có thể xác định được điện từ trường $\boldsymbol{F}$ do chúng sinh ra. *Tĩnh điện tích*, được mô tả bằng mật độ ρ, tạo ra *tĩnh điện* trường. Điện tích chuyển động được mô tả bằng mật độ dòng điện 3 chiều $\boldsymbol{j}$, tạo ra một hoà trộn của điện trường và từ trường. *Dòng điện dừng* tạo ra *tĩnh từ* trường. Sau cùng, điện tích chuyển động tạo ra trường chuyển động.

Phương trình trường 1 cũng chứa *luật bàn tay phải* đối với từ trường bao quanh dòng điện, thông qua tích vector. Và như ta đã đề cập, phương trình này cũng biểu diễn một cách rõ ràng hiện tượng điện trường biến thiên sinh ra từ trường. Hiệu ứng này rất quan trọng trong cuộn sơ cấp của biến thế. Hệ số $1/c^2$ nhỏ nên hiệu ứng này cũng nhỏ; do đó ta cần cuộn dây có *nhiều* vòng hay dòng điện *lớn* để tạo hay phát hiện ra hiệu ứng này.

Câu đố 72 e



HÌNH 44 Phương trình trường thứ hai của Điện động lực học.

Phương trình trường thứ hai của Điện động lực học

Phương trình trường Maxwell thứ 2, được minh hoạ trong Hình 44, biểu diễn thí nghiệm cho ta thấy trong thiên nhiên *không có* từ tích, tức là từ trường không có nguồn. Phương trình cũng mô tả chính xác cách từ trường thay đổi sinh ra điện trường và ngược lại – *'định luật' Faraday*. Phương trình trường Maxwell 2 của Điện động lực học có thể viết như sau

$$d\,{}^*\boldsymbol{F} = 0 \quad \text{với} \quad {}^*\boldsymbol{F}^{\rho\sigma} = \tfrac{1}{2}\varepsilon^{\rho\sigma\mu\nu}\boldsymbol{F}_{\mu\nu}$$

hay

$$\nabla\cdot\boldsymbol{B} = 0 \quad \text{và} \quad \nabla\times\boldsymbol{E} = -\frac{\partial\boldsymbol{B}}{\partial t}\,. \tag{30}$$

---

* Phương trình đầu có thể viết dưới dạng các thành phần như sau

$$d_\mu\boldsymbol{F}^{\mu\nu} = j^\nu\mu_0 = (\rho c, \boldsymbol{j})\mu_0 = (\rho_0\gamma c, \rho_0\gamma\boldsymbol{v})\mu_0 \quad \text{hay}$$

$$(\partial_t/c, \partial_x, \partial_y, \partial_z)\begin{pmatrix} 0 & -E_x/c & -E_y/c & -E_z/c \\ E_x/c & 0 & -B_z & B_y \\ E_y/c & B_z & 0 & -B_x \\ E_z/c & -B_y & B_x & 0 \end{pmatrix} = \mu_0(\rho c, \boldsymbol{j})\,. \tag{29}$$

Phương trình trường thứ 2* biểu diễn *sự vắng mặt của nguồn bằng tensor trường đối ngẫu* $^*\boldsymbol{F}$. Nói cách khác,

▷ *Trong thiên nhiên không có từ tích, tức là không có đơn cực từ.*

Từ trường không có nguồn. Phương trình trường 2 cũng nói rõ việc cắt một nam châm có 2 cực, dù bằng cách nào đi nữa, thì ta luôn luôn tạo ra các mảnh có *2* cực.

Vì không có từ tích nên các từ trường tuyến *không có bắt đầu và kết thúc*; các từ trường tuyến không do điện tích sinh ra nên *mọi* từ trường tuyến đều không có bắt đầu và kết thúc. Trường tuyến liên tục bên trong nam châm. Tính chất này nếu phát biểu theo kiểu toán học là *từ thông* xuyên qua một mặt *kín S* – như mặt cầu hay hình hộp – *luôn luôn bằng 0*: $\int_S \boldsymbol{B}\, \mathrm{d}\boldsymbol{A} = 0$. Nói cách khác, mọi trường tuyến đi vào một thể tích kín thì cũng đi ra khỏi nó.** Không có từ thông chỉ đi ra khỏi một thể tích kín. Phát biểu này thường được gọi là *'định luật' Gauss trong từ học.*

Ngoài ra phương trình 2 còn có thể phát biểu như sau

▷ *Sự biến thiên của từ trường sinh ra điện trường.*

Hiệu ứng này được ứng dụng trong cuộn thứ cấp của biến thế và trong dynamo. Tích vector trong phương trình này hàm ý rằng điện trường tạo ra bằng cách này – còn được gọi là *trường điện động* – không có điểm bắt đầu và kết thúc. Trường tuyến điện động có thể chạy theo vòng tròn: trong thực tế chúng chạy dọc theo mạch điện. Tóm lại, điện trường có thể có xoáy (giống từ trường) nhưng chỉ có khi từ trường biến thiên. Dấu trừ
Câu đố 73 ny để năng lượng chắc chắn bảo toàn (tại sao?) và điều này có tên đặc biệt: *quy tắc Lenz.*

Trong thực tế, phương trình Maxwell 2 luôn luôn đi với phương trình 1. Bạn có biết
Câu đố 74 ny tại sao không?

---

* Phương trình Maxwell 2 có thể viết dưới dạng các thành phần như sau

$$d_\mu {}^*\boldsymbol{F}^{\mu\nu} = 0 \quad \text{hay}$$

$$(\partial_t/c, \partial_x, \partial_y, \partial_z)\begin{pmatrix} 0 & -B_x & -B_y & -B_z \\ B_x & 0 & E_z/c & -E_y/c \\ B_y & -E_z/c & 0 & E_x/c \\ B_z & E_y/c & -E_x/c & 0 \end{pmatrix} = (0,0,0,0) \quad \text{hay}$$

$$\varepsilon^{\sigma\mu\nu\rho}\partial_\mu \boldsymbol{F}_{\nu\rho} = 0 \quad \text{hay}$$

$$\partial_\mu \boldsymbol{F}_{\nu\rho} + \partial_\nu \boldsymbol{F}_{\rho\mu} + \partial_\rho \boldsymbol{F}_{\mu\nu} = 0\,. \qquad (31)$$

Ta cũng nên chú ý rằng tensor đối ngẫu $^*\boldsymbol{F}$ là kết quả của tensor trường $\boldsymbol{F}$ khi ta thay thế E/c bằng B và B
Trang 92 bằng $-E/c$. Đây là *phép biến đổi đối ngẫu.* Dưới đây ta sẽ nói rõ hơn về tính đối ngẫu này.

** Trái với những điều người ta thường nói và viết trong sách vật lý, một cách tổng quát, từ trường tuyến
Xem 41 *không phải là* các đường đóng; chúng *không phải là* các vòng tròn hay các đường xoáy tròn. Từ trường tuyến chỉ đóng trong trường hợp dây dẫn điện thẳng; chúng không đóng trong trường hợp dòng điện tròn hay cuộn dây. Trong thực tế, từ trường tuyến thường bắt đầu và kết thúc ở vô cực. Từ trường *tuyến* là một công cụ toán học, chúng không cung cấp một mô tả hoàn toàn hữu dụng về từ trường. Ta có thể mô tả từ trường tốt nhất bằng *trường vector.*

Tính đúng đắn và bản chất của các phương trình trường Maxwell

Như ta đã thấy ở trên phương trình tiến hoá Lorentz

$$m\boldsymbol{b} = q\boldsymbol{F}\boldsymbol{u}$$
hay
$$\mathrm{d}E/\mathrm{d}t = q\boldsymbol{E}\boldsymbol{v} \quad \text{và} \quad \mathrm{d}\boldsymbol{p}/\mathrm{d}t = q(\boldsymbol{E} + \boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}) \qquad (32)$$

mô tả cách điện tích chuyển động cùng với chuyển động của trường. Hợp với phương trình tiến hoá của Lorentz, hai phương trình tiến hoá của Maxwell (28) và (30) mô tả *mọi* hiện tượng điện từ xảy ra đối với các vật có kích cỡ thông thường, từ mobile phone, accu xe hơi cho tới máy tính, laser, sấm sét, toàn đồ và cầu vồng. Nói cách khác, đối với đời sống hằng ngày thì sự mô tả này đã đầy đủ. Nó chỉ chưa bao gồm các hiệu ứng lượng tử và các hiệu ứng của không-thời gian cong.

Các phương trình Maxwell hình như khá phức tạp. Nhưng ta đừng quên rằng chúng chỉ chứa *4 ý* tưởng cơ bản.

1. Điện tích tuân theo 'định luật' Coulomb.
2. Điện tích chuyển động chậm hơn ánh sáng.
3. Điện tích được bảo toàn.
4. Không có từ tích.

Nếu ta muốn nói thật đơn giản thì các phương trình Maxwell là dạng tương đối tính của 'định luật' Coulomb. Thật vậy, như ta đã thấy trước kia, các phương trình Maxwell chỉ là kết quả của định luật bảo toàn điện tích. Xem 39

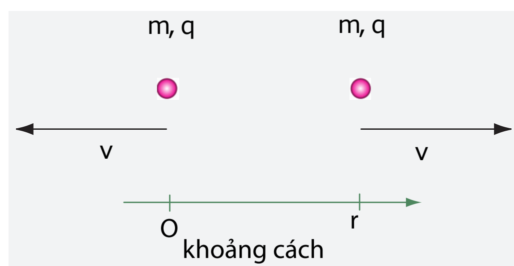
Cho tới ngày nay các phương trình này vẫn còn nguyên nét quyến rũ. Chúng có rất nhiều ứng dụng, từ kỹ nghệ cho tới Y học cứu sinh, từ đồ chơi và Âm nhạc cho tới Khoa học vật liệu, nghiên cứu sự dung hợp hạt nhân và Thiên văn học. Vận tải, viễn thông, máy tính, điện tử, phần lớn các công việc, nhân sinh và thực tế thì mọi niềm hỉ lạc đều phụ thuộc vào điện và từ. Từ năm 1899, sau khi Heinrich Hertz chuyển các phương trình Maxwell sang dạng tân kỳ, ông đã nói và viết:

> Man kann diese wunderbare Theorie nicht studieren, ohne bisweilen die Empfindung haben, als wohne den mathematischen Formeln selbständiges Leben und eigener Verstand inne, als seien dieselben klüger als wir, klüger sogar als ihre Erfinder, als gäben sie mehr heraus, als seinerzeit in sie hineingelegt wurde. *

Khi Ludwig Boltzmann viết quyển sách về Điện từ học của ông năm 1893, ông đã thêm câu châm ngôn văn hoa sau đây vào đầu chương các phương trình Maxwell:

> War es ein Gott der diese Zeichen schrieb,
> Die mit geheimnisvoll verborgnen Trieb
> Die Kräfte der Natur um mich enthüllen

* 'Người ta không thể nghiên cứu lý thuyết kỳ diệu này mà không có những lúc cảm thấy rằng các công thức toán học này có một đời sống độc lập và sự thông thái của riêng chúng, chúng thông minh hơn chúng ta, hơn cả người khám phá ra chúng và cho ta nhiều hơn công sức mà ta đã bỏ ra để tìm được chúng'.



HÌNH 45 Các điện tích sau va chạm.

Und mir das Herz mit stiller Freud erfüllen?*

Thật vậy, các công thức Maxwell đã giữ được nét quyến rũ của chúng. Mỗi năm người ta vẫn còn tìm và phát triển được các ứng dụng mới trên thế giới.

Cuộc phiêu lưu này sẽ không khám phá nhiều ứng dụng của các phương trình trường. Ta tạm gác chúng sang một bên và tiếp tục hướng tới mục tiêu tìm hiểu mối liên hệ giữa điện từ trường, chuyển động thông thường và chuyển động của ánh sáng. Đúng ra điện từ trường có một tính chất quan trọng mà ta đã đề cập ngay từ đầu: trường có thể chuyển động. Đặc biệt, trường có thể mang năng lượng, động lượng và moment động lượng.

Sự va chạm của các điện tích

Điện từ trường chuyển động. Có một thí nghiệm đơn giản để minh giải ý nghĩa của điều này: khi 2 điện tích va chạm thì tổng động lượng của chúng *không* bảo toàn.

Hãy tưởng tượng có 2 điện tích giống nhau, vừa va chạm và đang rời xa nhau. Điều này được minh hoạ trong Hình 45. Giả sử 2 khối lượng đều lớn nên gia tốc do điện lực sẽ nhỏ. Đối với quan sát viên ở khối tâm của cả 2, mỗi hạt sẽ có gia tốc do điện trường

Câu đố 75 ny

của hạt kia. Điện trường E này được tính theo công thức *Heaviside*

$$E = \frac{q\,(1 - v^2/c^2)}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \;. \tag{33}$$

Nói cách khác, tổng động lượng của cả hệ = 0.

Xét một quan sát viên thứ 2, chuyển động đối với quan sát viên 1 với vận tốc v, sao cho vận tốc của điện tích 1 đứng yên. Biểu thức (33) cho ta 2 giá trị *khác nhau* của điện

Xem 42

trường, mỗi giá trị ứng với vị trí của mỗi hạt. Nói cách khác, hệ 2 hạt này không phải là hệ quy chiếu quán tính như ta mong đợi; đối với quan sát viên này động lượng không

Câu đố 76 s

bảo toàn. Phần động lượng thiếu này tuy nhỏ nhưng đã đi đâu?

Xem 43

Hiệu ứng khác thường này đầu tiên được xem là định lý Van Dam và Wigner. Họ đã chứng minh rằng, đối với một hệ các hạt ở xa tương tác với nhau, năng-động lượng toàn phần của các hạt không bảo toàn trong mọi hệ quy chiếu quán tính.

Động lượng toàn phần của một hệ chỉ bảo toàn khi

* ‘Có phải Chúa là người đã viết ra những dấu hiệu này / để xua tan đi những điều bí mật bị ẩn giấu / phơi bày các lực của thiên nhiên quanh tôi / làm tim tôi tràn ngập niềm hỉ lạc lặng thầm?’ Boltzmann đã diễn giải 4 dòng trong tác phẩm *Faust* của Goethe thành 4 dòng này.

▷ Điện từ trường cũng có động lượng

Tóm lại, động lượng trong thí nghiệm thì bảo toàn nhưng một ít động lượng thì bị trường mang đi. Giá trị chính xác phụ thuộc vào quan sát viên.

Như vậy 2 điện tích va chạm chứng tỏ rằng điện từ trường có động lượng. Nếu chúng có động lượng thì chúng có thể *đánh bật* các vật và ngược lại. Như ta sẽ chứng minh dưới đây, ánh sáng cũng là điện từ trường nên ta có thể làm cho các vật chuyển động bằng cách chiếu ánh sáng lên chúng. Ta còn có thể treo một vật lơ lửng trong không khí bằng cách chiếu ánh sáng vào chúng từ dưới lên. Cả hai tiên đoán này đều đúng và ta sẽ
Trang 120 trình bày một số thí nghiệm ngay sau đây.

Ta có thể kết luận rằng bất kỳ trường nào tương tác được với các hạt thì phải có năng lượng và động lượng vì lập luận này áp dụng cho mọi trường hợp. Đặc biệt, nó áp dụng được cho tương tác hạt nhân. Thật vậy, trong phần lượng tử ta sẽ tìm ra một kết quả bổ sung: mọi trường đều được tạo thành từ các hạt. Như vậy trường sẽ phải có năng lượng và động lượng. Tóm lại, kết luận điện từ trường chuyển động vì chúng có năng lượng và động lượng là một điều hợp lý.

Tiếp xúc là gì?

Qua việc tìm hiểu sự va chạm cùng với kết quả vật chất gồm các hạt mang điện cho phép ta kết luận

▷ Sự tiếp xúc thông thường là sự trao đổi trường điện từ.

Đặc biệt, ta biết rằng trong đời sống hằng ngày không có tiếp xúc thật.

▷ Trong sự tiếp xúc thông thường, *không có sự đụng chạm thực sự nào* cả.

Ta phải quên đi điều mơ mộng đã định hướng cho các nhà tư tưởng trong nhiều thế kỷ qua: thế giới này không có tính máy móc. Mọi quá trình quanh ta đều là quá trình điện hay hấp dẫn

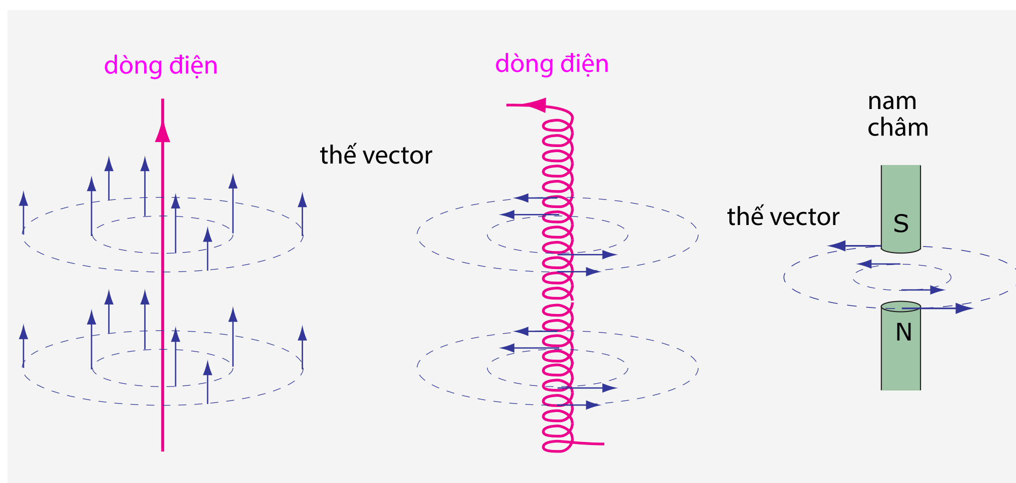
Trường chuẩn – thế vector điện từ

*

Việc nghiên cứu các trường chuyển động được gọi là *Lý thuyết trường* và Điện động lực học là một thí dụ đầu tiên. (Các thí dụ cổ điển khác là Động lực học lưu chất; điện từ trường chuyển động và lưu chất chuyển động rất giống nhau về mặt toán học.) Lý thuyết trường là một chủ đề hấp dẫn; trường tuyến, đường đẳng thế và đường xoáy là một số khái niệm được giới thiệu trong phần này. Sự mê hoặc của chúng rất mạnh.** Tuy nhiên trong hành trình lên đỉnh ta chỉ tập trung vào chuyển động.

* Phần này có thể bỏ qua trong lần đọc đầu tiên.

Câu đố 77 s ** Đối với trường tĩnh thì mối liên hệ giữa trường tuyến và các mặt (đẳng) thế là gì? Một trường tuyến có cắt ngang mặt đẳng thế 2 lần không? Để tìm hiểu kỹ hơn về chủ đề này ta có thể xem quyển sách giáo khoa *miễn phí* của Bo Thidé, *Electromagnetic Field Theory*, trên trang www.plasma.uu.se/CED/Book. Và
Xem 1, Xem 24 dĩ nhiên hãy đọc quyển sách bằng tiếng Anh của Schwinger và Jackson.



HÌNH 46 Thế Vector đối với một số trường hợp đặc biệt.

Ta đã biết rằng trường buộc chúng ta phải mở rộng khái niệm chuyển động. Chuyển động không chỉ là sự thay đổi trạng thái của một vật và của không-thời gian mà còn là *sự thay đổi trạng thái của trường*. Do đó ta cần một sự mô tả đầy đủ và chính xác về trạng thái của chúng.

Thí nghiệm sử dụng hổ phách và nam châm đã cho ta thấy rằng *điện từ trường có năng lượng và động lượng*. Trường có thể truyền năng lượng và động lượng cho hạt. Thí nghiệm với động cơ đã cho ta thấy vật có thể thêm năng lượng và động lượng cho trường. Do đó ta cần định nghĩa một *hàm trạng thái* cho phép ta xác định năng lượng và động lượng của điện trường và từ trường. Và vì điện trường và từ trường có truyền tải năng lượng, chuyển động của chúng phải tuân theo giới hạn tốc độ của thiên nhiên.

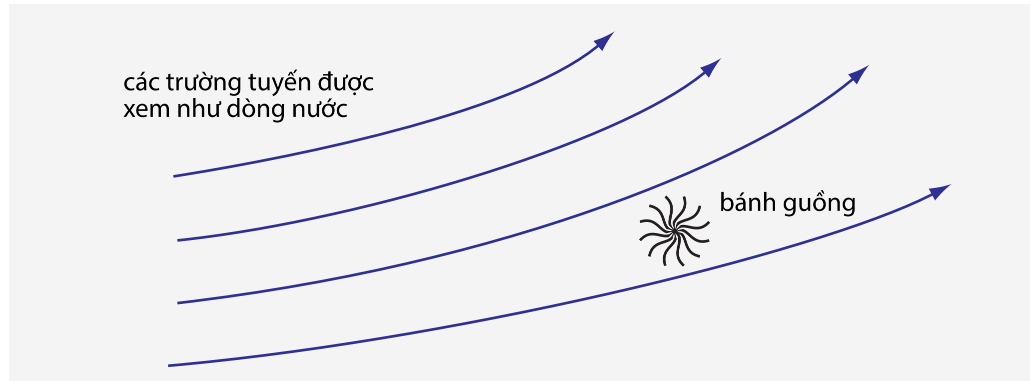
Hertz và Heaviside đã định nghĩa hàm trạng thái của trường qua 2 bước tiêu chuẩn. Bước 1 là định nghĩa *vector từ thế*, mô tả động lượng mà trường cung cấp cho mỗi đơn
Xem 44 vị điện tích:

$$\boldsymbol{A} = \frac{\boldsymbol{p}}{q} . \tag{34}$$

Khi một điện tích chuyển động xuyên qua 1 từ thế $\boldsymbol{A}(\boldsymbol{x})$, động lượng của nó thay đổi đi một lượng $q\Delta\boldsymbol{A}$; độ biến thiên bằng hiệu 2 điện thế ở điểm đầu và điểm cuối nhân cho điện tích. Theo định nghĩa này thế vector có tính chất

$$\boldsymbol{B} = \nabla \times \boldsymbol{A} = \text{curl } \boldsymbol{A} \tag{35}$$

nói khác đi từ trường là *curl* của từ thế. Trong nhiều ngôn ngữ khác curl còn được gọi là *rotation* viết tắt là rot. Để thấy rõ curl hay rot là gì, hãy tưởng tượng các vector trường là vector vận tốc trong không khí đang chảy. Bây giờ đặt một bánh guồng tí hon tại một điểm như trong Hình 47. Nếu nó quay thì curl khác 0. Tốc độ quay của bánh guồng cực đại đối với một số hướng của trục quay; tốc độ cực đại này xác định độ lớn và hướng của curl tại điểm đó. (Ở đây ta dùng quy tắc bàn tay phải). Thí dụ như curl của vận tốc
Câu đố 78 ny quay của vật rắn tại mọi điểm là 2ω hay 2 lần vận tốc góc.



HÌNH 47 Biểu diễn curl của một trường vector. Hãy tưởng tượng trường là không khí đang chảy và hãy kiểm tra xem bánh guồng có quay hay không; nếu có, curl địa phương là khác 0. Hướng của curl là hướng trục quay cho vận tốc quay lớn nhất.

Xem 45 Thế vector đối với một dòng điện thẳng song song với dòng điện; nó có độ lớn là

$$A(r) = -\frac{\mu_0 I}{4\pi} \ln \frac{r}{r_0} , \tag{36}$$

phụ thuộc vào khoảng cách r tới dòng điện và hằng số tích phân r_0. Biểu thức này được minh hoạ trong Hình 46, cho ta thấy phương thức mà dòng điện tạo ra động lượng trong (điện) từ trường quanh nó. Trong trường hợp solenoid, thế vector 'quay tròn' quanh solenoid. Độ lớn là

$$A(\mathrm{r}) = -\frac{\Phi}{4\pi}\frac{1}{r} , \tag{37}$$

trong đó Φ là từ thông trong solenoid. Một cách tổng quát, ta thấy rằng thế vector bị điện tích chuyển động *kéo theo*. Tác dụng kéo theo giảm đi khi khoảng cách tăng lên. Điều này phù hợp với hình ảnh của thế vector là động lượng của điện từ trường.

Tính chất của thế vector quanh điện tích làm ta nhớ lại cách mà mật ong bị muỗng di chuyển trong nó kéo theo. Trong cả 2 trường hợp tác dụng kéo theo đều giảm theo khoảng cách. Tuy vậy, thế vector khác với mật ong, *không* tạo ra ma sát làm chậm chuyển động của điện tích. Như vậy thế vector hành xử giống như chất lỏng không ma sát.

Câu đố 79 e Bên trong solenoid là từ trường đều nên ta tìm được thế vector là

$$\boldsymbol{A}(\mathrm{r}) = \frac{1}{2}\boldsymbol{B} \times \boldsymbol{r} . \tag{38}$$

Trong trường hợp này, từ thế sẽ tăng lên khi khoảng cách đến gốc tăng lên.* Trong tâm của solenoid, thế bằng 0. Sự tương tự mật ong bị kéo theo cũng cho cùng một tính chất như vậy.

Tuy nhiên có một vướng mắc ở đây. Từ thế *không* đơn trị. Nếu $\boldsymbol{A}(\boldsymbol{x})$ là thế vector thì

* Điều này chỉ có thể xảy ra khi trường không đổi; vì mọi trường đều giảm khi khoảng cách tăng – vì năng lượng của trường luôn luôn hữu hạn – nên thế vector giảm khi khoảng cách tăng.

thế vector ở điểm khác sẽ là

$$A'(x) = A(x) + \nabla \Lambda \,, \tag{39}$$

trong đó $\Lambda(t, x)$ là một hàm vô hướng, *cũng là* thế vector tại vị trí đó. (Dù vậy từ trường B vẫn không đổi). Bạn có thể khẳng định rằng động lượng (tuyệt đối) tương ứng cũng
Câu đố 80 ny
thay đổi hay không? Sự nhập nhằng không tránh khỏi này, được gọi là *sự bất biến chuẩn* hay *tính đối xứng chuẩn*, là một tính chất quan trọng của điện từ trường.

Không chỉ động lượng mà năng lượng của trường điện từ cũng không được xác định một cách rõ ràng. Thật vậy, bước thứ 2 trong việc đặc tả một trạng thái của điện từ trường
Xem 44
là xác định *điện thế* tức là năng lượng U tính cho mỗi đơn vị điện tích:

$$\varphi = \frac{U}{q} \tag{40}$$

Nói cách khác, điện thế $\varphi(x)$ tại điểm x là năng lượng cần thiết để di chuyển 1 đơn vị điện tích tới điểm x từ một điểm có thế bằng 0. Như vậy thế năng bằng $q\varphi$. Từ định nghĩa này, điện trường E chỉ là *độ biến thiên* của điện thế theo vị trí được hiệu chỉnh bằng sự biến thiên động lượng theo thời gian, tức là

$$E = -\nabla\varphi - \frac{\partial}{\partial t} A \,, \tag{41}$$

Dĩ nhiên là ta được tự do trong việc lựa chọn định nghĩa điện thế. Nếu $\varphi(x)$ là một điện thế thì

$$\varphi'(x) = \varphi(x) - \frac{\partial}{\partial t}\Lambda \tag{42}$$

cũng là hàm thế tại vị trí đó. Sự tự do này là sự tổng quát hoá định nghĩa năng lượng sai biệt một hằng số. Tuy vậy, điện trường E giống nhau đối với mọi điện thế.

Xem 44
Để thấy rằng điện thế thực sự là năng lượng và động lượng của điện trường, ta cũng
Câu đố 81 ny
nên lưu ý rằng đối với điện tích chuyển động ta có

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}mv^2 + q\varphi\right) &= \frac{\partial}{\partial t} q\,(\varphi - vA) \\ \frac{d}{dt}\,(mv + qA) &= -\nabla q\,(\varphi - vA) \,, \end{aligned} \tag{43}$$

chứng tỏ rằng sự thay đổi của năng lượng và động lượng tổng quát của 1 hạt (bên vế trái) bắt nguồn từ sự thay đổi năng lượng và động lượng của điện từ trường (bên vế phải).*

Viết dưới dạng vector 4 chiều tương đối tính, năng lượng và động lượng của trường xuất hiện trong cùng 1 đại lượng. Hàm trạng thái của điện từ trường trở thành

$$A^\mu = (\varphi/c, A) \tag{44}$$

* Mối liên hệ này cũng cho thấy lý do biểu thức $P^\mu - qA^\mu$ thường xuyên xuất hiện trong công thức; thật vậy, nó có vai trò quan trọng trong Thuyết lượng tử của 1 hạt trong điện từ trường.

và được gọi là *điện thế 4 chiều*. Dễ dàng thấy rằng sự mô tả trường đã đầy đủ vì ta có

$$\boldsymbol{F} = d\,A \quad \text{hay} \quad \boldsymbol{F}^{\mu\nu} = \partial^\mu A^\nu - \partial^\nu A^\mu \quad (\text{và} \quad \boldsymbol{F}_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu)\,, \tag{45}$$

hay điện từ trường F được xác định hoàn toàn nhờ điện thế 4 chiều A.* Nhưng như ta vừa đề cập, điện thế 4 chiều *không* đơn trị. Thật vậy, một điện thế 4 chiều A' khác liên hệ với A qua *phép biến đổi chuẩn*

$$A'^{\mu} = A^\mu + \partial^\mu \Lambda \tag{46}$$

trong đó $\Lambda = \Lambda(t, x)$ là một trường vô hướng được chọn tuỳ ý. Trường mới A' sẽ dẫn tới điện từ trường, gia tốc và sự tiến hoá *tương tự*. Điện thế 4 chiều A là một *sự mô tả mở rộng* một tình trạng khi có nhiều lựa chọn chuẩn *khác nhau* tương ứng với *cùng* một trạng thái vật lý.** Do đó ta phải kiểm tra mọi kết quả đo được xem có độc lập với phép biến đổi chuẩn hay không, tức là mọi biến động lực có phải là đại lượng bất biến đối với chuẩn hay không. Nhìn chung các đại lượng bất biến chuẩn, các trường $\boldsymbol{F}$ và $^*\boldsymbol{F}$, như ta vừa thấy, là các đại lượng cổ điển. Cũng nên nói thêm rằng nhiều nhà vật lý lý thuyết sử dụng thuật ngữ 'điện từ trường' để chỉ đại lượng $F^{\mu\nu}$ lẫn A^μ.

Có một hình ảnh đơn giản, bắt nguồn từ Maxwell, giúp ta vượt qua khó khăn về khái niệm thế vector này. Hoá ra là tích phân trên đường cong kín của A_μ thì bất biến chuẩn

Câu đố 83 e

vì

$$\oint A^\mu \mathrm{d}x_\mu = \oint (A^\mu + \partial^\mu \Lambda)\mathrm{d}x_\mu = \oint A'^\mu \mathrm{d}x_\mu\,. \tag{47}$$

Nói cách khác, nếu ta hình dung thế vector là một đại lượng cho phép ta kết hợp một số với một vòng tròn nhỏ tại mỗi điểm trong không gian thì ta sẽ có một hình ảnh rõ ràng về bất biến chuẩn của thế vector.***

Đến đây ta đã định nghĩa hàm trạng thái mô tả năng lượng và động lượng của điện từ trường. Ta hãy xem điều gì sẽ xảy ra khi điện từ trường chuyển động.

Lagrangian của điện từ trường

****

Thay vì sử dụng trường và phương trình Lorentz, ta còn có thể sử dụng Lagrangian để mô tả chuyển động của điện tích và điện trường liên hệ. Ta có thể dễ dàng thấy rằng tác dụng S_{CED} đối với 1 hạt trong Điện động lực học cổ điển có thể được định nghĩa bằng

* Mối liên hệ giữa A_μ và A^μ, giống như mọi vector 4 chiều khác đã được đề cập trước kia; bạn có thể nhắc lại không?

Câu đố 82 e

** Việc lựa chọn hàm Λ thường được gọi là *lựa chọn 1 chuẩn*; điện thế 4 chiều A còn được gọi là *trường chuẩn*. Những thuật ngữ kỳ lạ này xuất phát từ những nguyên do lịch sử và hiện nay thì trở nên phổ biến trong vật lý.

Xem 46

*** Trong phần Thuyết lượng tử ta sẽ thấy rằng hàm mũ của biểu thức này cụ thể là $\exp(iq \oint A_\mu \mathrm{d}x^\mu)/\hbar$, thường được gọi là *thừa số phase*, có thể quan sát trực tiếp trong các thí nghiệm.

**** Phần này có thể bỏ qua trong lần đọc đầu tiên.

Câu đố 84 ny
phương trình sau *

$$S_{\text{CED}} = -c^2 m \int d\tau - \frac{1}{4\mu_0} \int \boldsymbol{F} \wedge {*\boldsymbol{F}} - \int j \wedge A \,, \tag{48}$$

khi viết dưới dạng chỉ số sẽ trở thành

$$S_{\text{CED}} = -mc \int_{-\infty}^{\infty} \sqrt{\eta_{\mu\nu} \frac{dx_n^{\mu}(s)}{ds} \frac{dx_n^{\nu}(s)}{ds}}\, ds - \int_{\mathbf{M}} \left(\tfrac{1}{4\mu_0} \boldsymbol{F}_{\mu\nu} \boldsymbol{F}^{\mu\nu} + j_{\mu} A^{\mu} \right) d^4 x \,, \tag{49}$$

hay dưới dạng vector 3 chiều

$$S_{\text{CED}} = -c^2 m \int d\tau + \int (qvA - q\varphi)\, dt dV + \int \left(\frac{\varepsilon_0}{2} E^2 - \frac{1}{2\mu_0} B^2 \right) dt dV \,. \tag{50}$$

Điều mới ở đây là độ biến đổi – hay tác dụng – bắt nguồn từ điện từ trường. Độ biến đổi thuần tuý của trường là số hạng $\boldsymbol{F} \wedge {*\boldsymbol{F}}$ và độ biến đổi do tương tác với vật chất là số hạng $j \wedge A$.

Như thường lệ, nguyên lý tác dụng cực tiểu phát biểu rằng sự thay đổi trong một hệ luôn luôn nhỏ nhất. Tác dụng S_{CED} sẽ dẫn tới phương trình tiến hoá nếu tác dụng ở trạng thái dừng khi độ biến thiên của vị trí δ và độ biến thiên của trường δ' dẫn tới 0 ở vô cực. Nói cách khác, điều kiện đó là

$$\begin{aligned} \delta S = 0 \quad \text{khi} \quad & x_{\mu} = x_{\mu} + \delta_{\mu} \quad \text{và} \quad A_{\mu} = A_{\mu} + \delta'_{\mu} \quad , \\ & \text{miễn là} \quad \delta x_{\mu}(\theta) \to 0 \quad \text{khi} \quad |\theta| \to \infty \\ & \text{và} \quad \delta A_{\mu}(x_{\nu}) \to 0 \quad \text{khi} \quad |x_{\nu}| \to \infty \,. \end{aligned} \tag{51}$$

Quyển I, trang 254
Câu đố 85 ny
Tương tự như trong Cơ học, bằng cách sử dụng phương pháp biến phân cho 2 biến A và x, ta tìm được các phương trình tiến hoá đối với vị trí của hạt và trường

$$b^{\mu} = \frac{q}{m} \boldsymbol{F}^{\mu}_{\nu} u^{\nu} \quad , \quad \partial_{\mu} \boldsymbol{F}^{\mu\nu} = j^{\nu} \mu_0 \quad , \quad \text{và} \quad \varepsilon^{\mu\nu\rho\sigma} \partial_{\nu} \boldsymbol{F}_{\rho\sigma} = 0 \,, \tag{52}$$

mà ta đã biết: chúng là hệ thức Lorentz và 2 phương trình trường. Dĩ nhiên chúng tương đương với nguyên lý biến phân dựa trên S_{CED}. Cả 2 cách mô tả đều phải bổ sung bằng cách đặc tả *các điều kiện ban đầu* đối với các hạt và trường cũng như *các điều kiện biên* đối với trường. Ta cần các đạo hàm bậc 1 và bậc 0 của vị trí của hạt và đạo hàm bậc 0 đối với điện từ trường.

Mọi điều thuộc về Điện động lực học cổ điển đều có thể mô tả và hiểu được nhờ Lagrangian (48). Trong phần còn lại của cuộc hành trình khám phá Điện động lực học ta sẽ xem xét một số chủ đề đặc biệt trong lĩnh vực bao la này.

* Tích được mô tả bằng ký hiệu ∧ 'mũ', và toán tử đối ngẫu ∗ có một ý nghĩa toán học chính xác. Khái niệm nền tảng là *dạng (toán học)*, sẽ mang ta đi khỏi cuộc hành trình này quá xa.
Xem 48

Tensor năng-động lượng và tính đối xứng của chuyển động của chúng

Ta đã biết trong Cơ học cổ điển rằng ta có thể định nghĩa năng lượng và động lượng bằng cách sử dụng định lý Noether. Đặc biệt cả 2 định nghĩa và sự bảo toàn năng lượng và động lượng đều xuất phát từ tính đối xứng Lorentz của Lagrangian. Thí dụ như ta nhận thấy rằng các hạt tương đối tính có một *vector* năng-động lượng. Tại vị trí của hạt, nó mô tả năng lượng và động lượng.

Vì điện từ trường là một thực thể không định xứ giống như chất điểm mà là một thực thể linh hoạt nên việc mô tả nó một cách đầy đủ khá phức tạp. Để làm việc này, ta cần biết *dòng* năng lượng và động lượng tại một điểm trong không gian, riêng *cho từng hướng*. Điều này khiến cho ta cần dùng *tensor năng-động lượng* $\boldsymbol{T}$ để mô tả điện từ trường.

Quyển II, trang 200

Điện trường * điện tích = lực tác dụng lên nó hay nói một cách tương đương, động lượng của nó, tăng theo thời gian. Sự tổng quát hoá đối với toàn bộ điện từ trường $\boldsymbol{F}$ và vector công suất-lực (hay vector lực 4 chiều) $\boldsymbol{K}$ là

$$F^{\mu\nu} j_\mu = K^\nu = \partial_\mu \boldsymbol{T}^{\mu\nu} \quad . \tag{53}$$

Phương trình ngắn gọn này có thể suy ra từ Lagrangian, chứa khá nhiều thông tin. Đặc biệt, nó biểu diễn mọi sự thay đổi năng lượng của trường là tổng của năng lượng phát xạ (thông qua dòng năng lượng được mô tả bằng vector Poynting $\boldsymbol{S}$) và độ biến thiên động năng của điện tích. Phương trình này cũng có một biểu diễn tương tự đối với động lượng của điện từ trường.

Phần chi tiết của tensor năng-động lượng $\boldsymbol{T}$ là

$$\boldsymbol{T}^{\mu\nu} = \left(\begin{array}{c|c} \text{mật độ} & \text{mật độ} \\ \text{năng lượng} & \text{dòng năng lượng|động lượng} \\ \hline \text{mật độ} & \text{mật độ} \\ \text{dòng năng lượng|động lượng} & \text{dòng động lượng} \end{array}\right)$$
$$= \left(\begin{array}{c|c} u & \boldsymbol{S}/c = c\boldsymbol{p} \\ c\boldsymbol{p} & T \end{array}\right) = \left(\begin{array}{c|c} (\varepsilon_0 E^2 + B^2/\mu_0)/2 & \varepsilon_0 c \boldsymbol{E} \times \boldsymbol{B} \\ \hline \varepsilon_0 c \cdot & -\varepsilon_0 E_i E_j - B_i B_j/\mu_0 \\ \boldsymbol{E} \times \boldsymbol{B} & 1/2\delta_{ij}(\varepsilon_0 E^2 + B^2/\mu_0) \end{array}\right) \tag{54}$$

trong đó $\boldsymbol{S} = \boldsymbol{E} \times \boldsymbol{B}/\mu_0$ là *vector Poynting* mô tả mật độ dòng năng lượng của điện từ trường. Tensor năng-động lượng $\boldsymbol{T}$ tuân theo hệ thức liên tục: nó mô tả một đại lượng bảo toàn.

Ta có thể tóm tắt lại rằng trong thiên nhiên, năng lượng và động lượng được bảo toàn nếu ta tính đến năng lượng và động lượng của điện từ trường. Và tensor năng-động lượng lại chứng tỏ rằng Điện động lực học là một mô tả bất biến chuẩn: năng lượng và động lượng không phụ thuộc vào sự lựa chọn chuẩn.

Câu đố 86 e

Tensor năng-động lượng, giống như Lagrangian, cho ta thấy rằng Điện động lực học bất biến qua *phép nghịch đảo chuyển động*. Nếu mọi điện tích thay đổi hướng chuyển động – trường hợp thường bị gọi nhầm là 'phép nghịch đảo thời gian' – chúng sẽ đi ngược lại con đường mà chúng đã đi qua. Mọi chuyển động bắt nguồn từ điện trường hay từ trường đều có thể xảy ra ngược lại.

Mặt khác, đời sống hằng ngày cũng cho ta thấy nhiều hiệu ứng điện và từ không bất biến đối với thời gian như sự bẻ gãy một vật hay sự cháy bóng đèn tròn. Bạn có thể cho Câu đố 87 s biết các điều này trùng hợp nhau ở chỗ nào không?

Ta cũng nên nhớ rằng điện tích và khối lượng phá huỷ sự đối xứng của chân không Quyển II, trang 91 như ta đã đề cập trong Thuyết tương đối đặc biệt: chân không chỉ bất biến qua các phép biến đổi bảo giác. Đặc biệt, chỉ có chân không là bất biến qua phép nghịch đảo không gian $r \to 1/r$. Các hệ vật lý khác đều không có tính đối xứng bảo giác.

Tóm lại, chuyển động điện động lực, giống như mọi chuyển động khác mà ta đã gặp, có tính tất định, chậm hơn c, có tính thuận nghịch và bảo toàn. Điều này không lạ. Tuy nhiên có 2 tính đối xứng khác đáng được đề cập riêng.

Năng lượng và động lượng của điện từ trường

Mọi thực thể chuyển động đều có năng lượng, động lượng và moment động lượng. Điều này cũng áp dụng cho điện từ trường. Thật vậy, ta có thể viết năng lượng *toàn phần* E_{nergy} của điện từ trường như sau

$$E_{\text{nergy}} = \frac{1}{4\pi} \int \frac{\varepsilon_0}{2} (\boldsymbol{E}^2 + c^2 \boldsymbol{B}^2)\, \mathrm{d}V \,. \qquad (55)$$

Năng lượng có bậc 2 đối với trường.

Với động lượng toàn phần $\boldsymbol{p}$ ta có

$$\boldsymbol{p} = \frac{1}{4\pi} \int \varepsilon_0 \boldsymbol{E} \times \boldsymbol{B}\, \mathrm{d}V \,. \qquad (56)$$

Biểu thức dưới dấu tích phân là *mật độ động lượng*. Vector $\boldsymbol{S} = \boldsymbol{E} \times \boldsymbol{B}/\mu_0$, được gọi là *vector Poynting** và nó mô tả *năng thông*; nó là trường vector và có đơn vị là $\mathrm{W/m^2}$. Vector Poynting là mật độ động lượng chia cho c^2; thật vậy, Thuyết tương đối đặc biệt hàm ý rằng động lượng và dòng năng lượng đối với điện từ trường liên hệ với nhau qua thừa số c^2. Vector Poynting mô tả dòng năng lượng cho mỗi đơn vị diện tích và thời gian, nói cách khác, đó là công suất cho mỗi đơn vị diện tích. Như ta sẽ trình bày dưới Trang 89 đây, vector Poynting là một phần của tensor năng-động lượng.

Bạn có thể tạo ra một sơ đồ của trường vector Poynting của một dòng điện thẳng Câu đố 88 s không? Và của một biến thế?

Xem 47 Đối với moment động lượng toàn phần ta có

$$\boldsymbol{L} = \frac{\varepsilon_0}{4\pi} \int \boldsymbol{E} \times \boldsymbol{A}\, \mathrm{d}V = \frac{\varepsilon_0}{4\pi} \int \boldsymbol{r} \times (\boldsymbol{E} \times \boldsymbol{B})\, \mathrm{d}V \,, \qquad (57)$$

trong đó $\boldsymbol{A}$ là từ thế vector.

Tóm lại, điện từ trường có động lượng, moment động lượng và năng lượng, với giá trị xác định. Tuy nhiên, đối với trường hợp thông thường, giá trị thực rất nhỏ có thể bỏ Câu đố 89 e qua, và bạn có thể tự kiểm tra điều này.

* John Henry Poynting (b. 1852 Monton, d. 1914 Birmingham) đưa ra khái niệm này vào năm 1884.



HÌNH 48 Hình nào là hình phong cảnh gốc? (NOAA).

Gương là gì? Thiên nhiên có tính bất biến chẵn lẻ không?

Ta sẽ nghiên cứu các tính chất lạ kỳ của gương nhiều lần trong cuộc hành trình này. Hãy bắt đầu với tính chất đơn giản nhất. Mọi người đều biết, bằng cách tô màu mỗi bàn tay bằng các màu khác nhau, gương *không* hoán đổi phải và trái cũng như trên và dưới; tuy vậy, gương thay đổi *thủ đối tính*. Đúng ra, nó làm điều đó bằng cách hoán đổi trước và sau.

Điện động lực học cho ta thí dụ thứ 2: gương là một thiết bị hoán đổi từ cực bắc và nam nhưng không hoán đổi dấu của điện tích. Bạn có thể chứng minh điều này bằng một sơ đồ hay không?

Câu đố 90 s

Nhưng có phải là ta luôn luôn phân biệt được trái và phải không? Điều này có vẻ dễ dàng: bài học này khác với phiên bản ạx nảhq của nó cũng như nhiều vật khác chung quanh ta. Nhưng hãy lấy một phong cảnh đơn giản. Bạn có thể chỉ ra hình nào trong hai hình của Hình 48 là hình gốc không?

Điều đáng ngạc nhiên là ta thực sự không thể phân biệt một hình chụp thiên nhiên gốc và ảnh qua gương của nó nếu nó không chứa những dấu vết của con người. Nói cách khác, thiên nhiên quanh ta ít nhiều gì đó có tính đối xứng trái-phải. Kết quả này phổ biến đến nỗi mọi trường hợp ngoại lệ đều đã được nghiên cứu rộng rãi. Thí dụ như sự chuyển động của hàm của các con bò khi nhai lại, sự tăng trưởng theo hình xoắn ốc của cây cỏ, như cây hoa bia, hướng xoắn của vỏ ốc sên hay sự quẹo trái của các con dơi khi ra khỏi hang. Thí dụ nổi tiếng nhất là vị trí của tim. Cơ chế dẫn tới cách bố trí này vẫn còn được nghiên cứu. Các nghiên cứu gần đây đã khám phá ra rằng chuyển động có hướng của các tiêm mao của phôi, trong các vùng được gọi là *node*, có tính bất đối xứng trái-phải. Ta sẽ tìm hiểu vấn đề này sau.

Quyển V, trang 258

Quyển V, trang 27

Phần lớn cơ thể người có nhiều cơ bên tay phải đối với những người thuận tay phải, như Albert Einstein và Pablo Picasso, và bên trái tương ứng với những người thuận tay trái, như Charlie Chaplin và Peter Ustinov. Sự bất đối xứng này phản ánh sự bất đối xứng của não bộ, được gọi là sự trắc hoá, rất quan trọng đối với bản chất của con người.

Một sự bất đối xứng khác trong cơ thể người là xoáy tóc trên đầu; đa số có một xoáy và 80 % của trường hợp này là xoáy trái. Nhưng nhiều người có hơn một xoáy. Bạn có thể đặt tên cho tính bất đối xứng phụ này không?

Câu đố 91 s

Sự đối xứng của thiên nhiên xuất hiện vì thiên nhiên thường được mô tả bằng trọng lực và như ta sẽ thấy, bằng tương tác điện từ. Cả 2 tương tác này đều có một tính chất

quan trọng: việc đổi dấu toàn bộ các toạ độ trong các phương trình của chúng không làm thay đổi các phương trình này. Điều này có nghĩa là một lời giải bất kỳ của các phương trình này đối với một hệ nào đó cũng có thể là lời giải đối với một ảnh gương của hệ. Như vậy thiên nhiên thường không phân biệt trái và phải. Thật vậy, có người thuận tay phải *và* có người thuận tay trái, có người tim nằm bên trái *và* có người tim nằm bên phải, v.v...

Để tìm hiểu thêm về tính chất kỳ lạ này của thiên nhiên ta thử làm thí nghiệm sau: hãy tưởng tượng bạn đang trao đổi các thông điệp vô tuyến với một người Hoả tinh; bạn có thể giải thích cho anh ta trái phải là gì sao cho khi gặp nhau, hai người đang nói về Câu đố 92 s cùng một điều hay không?

Thật ra *tính đối xứng gương* trong thiên nhiên – còn được gọi là *tính bất biến chẵn lẻ* – có ý nghĩa sâu sắc đến nỗi phần lớn động vật không thể phân biệt trái phải theo nghĩa Xem 49 này. Đa số phản ứng với các kích thích gương bằng các đáp ứng gương. Rất khó để dạy cho chúng phản ứng theo kiểu khác và đối với động vật hữu nhũ thì hầu như không thể. Nhiều thí nghiệm được thực hiện trong lĩnh vực này cho kết quả là động vật có hệ thần kinh đối xứng và có thể chỉ có con người mới có *sự trắc hoá*, tức là có tay thuận và công dụng của phần não trái và phải khác nhau.

Tóm tắt phần lạc đề này, ta thấy Điện động lực học cổ điển có tính đối xứng trái-phải Câu đố 93 s hay bất biến chẵn lẻ. Bạn có thể chứng minh điều này bằng Lagrangian không?

Tại sao kim loại cung cấp cho ta các tấm gương tốt? Kim loại là vật hấp thu ánh sáng mạnh. Vật hấp thu mạnh có vẻ sáng kim loại. Điều này đúng với kim loại nếu chúng đủ dày nhưng cũng đúng đối với các tinh thể thuốc nhuộm hay mực. Vật liệu hấp thu mạnh bước sóng ánh sáng nào thì cũng phản xạ mạnh bước sóng ánh sáng đó. Nguyên nhân hấp thu mạnh của kim loại là các electron ở bên trong nó; chúng có thể chuyển động gần như tự do và như vậy hấp thu phần lớn các tần số ánh sáng khả kiến; điều này gây ra các sóng phù du trong vật liệu và sóng phản xạ mạnh. Sóng phản xạ xuất hiện ngay khi độ dài hấp thu nhỏ cỡ 1 bước sóng. Đó là lý do mà cà phê đậm, trà đặc và hơi kim loại kiềm đậm đặc có tác dụng như gương. (Tuy vậy, phản xạ mạnh có khi cũng không cần hấp thu mạnh, như điện môi nhiều lớp có ở khắp nơi chẳng hạn.)

Trang 91 Đây là một câu đố: một gương cầu lõm cho một ảnh ngược chiều; gương phẳng cũng vậy nếu nó được gấp một phần theo phương nằm ngang. Điều gì sẽ xảy ra nếu ta quay Câu đố 94 s gương này quanh đường ngắm?

Sự khác nhau giữa điện trường và từ trường là gì?

Câu trả lời tiêu chuẩn rõ ràng là điện trường có nguồn còn từ trường thì không; kết quả là các hiệu ứng tương đối tính của từ trường chỉ quan trọng khi vận tốc của điện tích lớn hay khi điện trường bị loại bỏ.

Trong những trường hợp có liên quan tới vật chất ta có thể phân biệt được trường và nguồn của chúng. Cho tới hôm nay, người ta chưa tìm thấy hạt nào có từ tích, tức là *đơn cực từ*, mặc dù nó có mặt trong các mô hình đặc biệt trong vật lý hạt. Nếu tìm được, Quyển V, trang 269 người ta phải sửa lại tác dụng (48) bằng cách thêm vào số hạng thứ tư, tên là mật độ dòng từ. Tuy nhiên, mặc dù đã nỗ lực nhưng người ta chưa phát hiện được những hạt như vậy.

Trong không gian trống rỗng, không có vật chất, người ta có thể có một cái nhìn hoàn toàn khác. Trong không gian này điện trường và từ trường có thể xem như 2 mặt của

cùng một đại lượng vì một phép biến đổi như sau

$$\boldsymbol{E} \to c\,\boldsymbol{B}$$
$$\boldsymbol{B} \to -\boldsymbol{E}/c \qquad (58)$$

được gọi là phép biến đổi *đối ngẫu* (điện từ), sẽ biến đổi mỗi phương trình trong chân không của Maxwell thành phương trình khác. Điều này cần có thêm dấu trừ. (Đúng ra có nhiều phép biến đổi như vậy; bạn có thể tìm ra chúng không?) Ngoài ra, phép biến đổi đối ngẫu biến đổi $\boldsymbol{F}$ thành $^*\boldsymbol{F}$. Nói cách khác, trong không gian trống rỗng ta *không thể* phân biệt điện trường với từ trường. Đặc biệt, ta không thể nói một trường tuyến trong chân không là điện trường tuyến hay từ trường tuyến.

Câu đố 95 s

Vật chất sẽ có tính đối xứng đối với phép đối ngẫu nếu từ tích, tức đơn cực từ, hiện hữu. Trong trường hợp đó phép biến đổi (58) có thể mở rộng thành

$$c\rho_{\mathrm{e}} \to \rho_{\mathrm{m}} \quad , \quad \rho_{\mathrm{m}} \to -c\rho_{\mathrm{e}} \; . \qquad (59)$$

Trong một thời gian dài, người ta nghĩ rằng tính đối ngẫu có thể được sử dụng để tìm ra lý thuyết thống nhất sau cùng của vật lý. Tuy nhiên hy vọng này đã tan biến. Lý do thất bại có thể bắt nguồn từ một sự kiện nhỏ nhưng đáng sợ: phép biến đổi đối ngẫu điện từ đổi dấu của Lagrangian, và như vậy là đổi dấu của tác dụng. Do đó, phép đối ngẫu điện từ không thực sự là một phép đối xứng của thiên nhiên và như vậy sẽ không giúp cho ta hiểu biết sâu xa hơn về các hiện tượng điện từ.

Xem 50
Câu đố 96 e

Hơn nữa phép đối ngẫu là một phép đối xứng *chỉ* có giá trị trong không-thời gian Minkowski tức là trong không-thời gian 3 + 1 chiều. Về mặt toán học, phép đối ngẫu có liên hệ mật thiết với quaternion, với khả năng diễn dịch phép biến đổi Lorentz như phép quay trong không gian 3 + 1 chiều, và sau cùng nhưng không kém phần quan trọng, với khả năng xác định các cấu trúc toán học trơn khác với cấu trúc tiêu chuẩn trong không gian R^4. Trong thời điểm hiện nay các mối liên hệ này còn là các điều bí mật; chúng chỉ ra vai trò đặc biệt của không-thời gian *4* chiều trong thiên nhiên. Điều này sẽ trở nên rõ ràng hơn trong quyển sau cùng của cuộc hành trình.

Điện động lực học có thể khác đi không?

Xem 39

Ta đã thấy Điện động lực học dựa trên 3 ý tưởng: bảo toàn điện tích, giới hạn tốc độ của điện tích và hệ thức bình phương nghịch đảo của Coulomb. Có ý nào sai hay cần chỉnh sửa không?

Thí nghiệm cho ta thấy rằng ý tưởng cần chỉnh sửa là hệ thức Coulomb. Thật vậy, một tương tác như tương tác Coulomb (4) độc lập đối với vận tốc 3 chiều của 2 hạt đối với quan sát viên này lại phải phụ thuộc vận tốc 3 chiều đối với một quan sát viên quán tính khác.* Tương tác đó cũng phải phụ thuộc vào vận tốc 4 chiều để thoả điều kiện trong Thuyết tương đối đặc biệt là gia tốc 4 chiều phải trực giao với vận tốc 4 chiều. Trường hợp đơn giản nhất là tương tác mà trong đó gia tốc 4 chiều tỷ lệ với vận tốc 4 chiều. Cùng với điều kiện tương tác phải để cho khối lượng không đổi, ta sẽ tìm lại được Điện động lực học. Các tương tác khác không phù hợp với thực nghiệm.

Xem 51

* Có thể suy ra điều này từ Thuyết tương đối đặc biệt, với lập luận ở Trang 54 hay từ công thức ở phần ghi chú của Trang 85 Quyển II.

Đúng ra yêu cầu của phép đối xứng chuẩn và tính bất biến tương đối tính khiến cho ta không thể chỉnh sửa Điện động lực học. Tóm lại, hình như ta không thể có quy luật khác với $1/r^2$ của tương tác cổ điển.

Có lẽ chỉ có một chút sai lệch so với hệ thức Coulomb chăng? Sự phụ thuộc bình phương nghịch đảo dẫn tới việc khối lượng của ánh sáng và các hạt của ánh sáng (photon) bằng 0. Khối lượng này có thực sự bằng 0 không? Vấn đề này đã được nghiên
Xem 52
cứu rất nhiều. Một photon có khối lượng sẽ kéo theo sự phụ thuộc vào bước sóng của tốc độ ánh sáng trong chân không, sự sai lệch với 'định luật' bình phương nghịch đảo, sự sai lệch với 'định luật' Ampère, sự hiện hữu của sóng điện từ dọc và nhiều hơn nữa. Người ta không tìm thấy bằng chứng nào cho các hiệu ứng này. Tổng hợp các nghiên cứu này cho ta thấy khối lượng photon nhỏ hơn 10^{-53} kg hay có thể là 10^{-63} kg. Một số luận chứng không được công nhận nên giới hạn này thay đổi ít nhiều giữa các nhà nghiên cứu.

Việc photon có khối lượng nhỏ khác 0 sẽ ít nhiều làm thay đổi Điện động lực học. Sự gồm thêm khối lượng nhỏ không tạo ra vấn đề gì đặc biệt và Lagrangian tương ứng còn
Xem 52
gọi là *Proca Lagrangian*, đã được nghiên cứu cho mọi trường hợp.

Nói một cách chặt chẽ, ta không thể nói là khối lượng photon bằng 0. Đặc biệt, một photon có bước sóng Compton bằng bán kính của vũ trụ khả kiến không khác với photon có khối lượng bằng 0 trong một thí nghiệm bất kỳ. Điều này dẫn tới giới hạn khối lượng của photon là 10^{-69} kg. Photon với khối lượng nhỏ như vậy không làm giảm giá trị của Điện động lực học của chúng ta. Ta nên nhớ là hiện nay giới hạn thực nghiệm vẫn còn lớn hơn nhiều. Trên nguyên tắc vẫn có thể xảy ra các điều đáng ngạc nhiên.

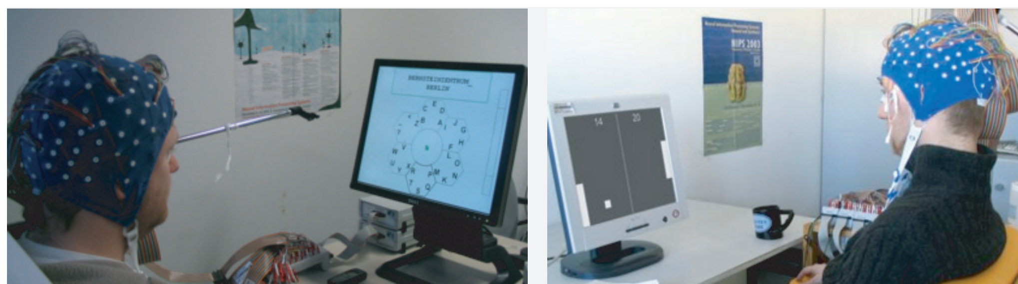
Điều thú vị là việc khối lượng của photon khác 0 không xác nhận việc có đơn cực từ, vì tính đối xứng giữa điện trường và từ trường sẽ bị phá vỡ. Do đó, một mặt, ta phải xem trọng việc cố gắng cải thiện giới hạn khối lượng photon về mặt thực nghiệm, mặt khác, ta phải tìm hiểu xem giới hạn bắt nguồn từ kích thước vũ trụ này có liên quan gì tới vấn đề đó hay không. Ta vẫn chưa có câu trả lời.

Tóm lại, việc tìm ra cách chỉnh sửa Điện động lực học để nó phù hợp với thực nghiệm rất khó nếu không nói là không thể được. Điện động lực học phải được chỉnh sửa toàn bộ.

Não bộ: thách thức gai góc nhất của Điện động lực học

Các nhà nghiên cứu Điện động lực học cổ điển vẫn còn phải đối diện với một vấn đề lý thuyết và thực nghiệm hấp dẫn: tìm hiểu các quá trình tư duy. Có 2 thách thức trong lĩnh vực này. Đầu tiên, họ phải tìm ra các phương thức *mô hình hoá* quá trình tư duy. Thứ hai, kỹ thuật *đo* các dòng điện trong não phải được cải tiến. Trong cả hai lĩnh vực, các tiến bộ gần đây rất ngoạn mục.

Các nghiên cứu quan trọng đã được tiến hành ở nhiều cấp độ mô hình hoá tư tưởng. Thí dụ như việc sử dụng phép chụp cắt lớp bằng máy tính, chụp PET và chụp ảnh MRI đã chứng tỏ rằng ta có thể đo được sự khác nhau giữa *ý thức* và *vô thức*: nó có một nền tảng sinh học. Tư duy có ý thức và không có ý thức xảy ra trong các vùng não khác nhau. Các quá trình tâm lý, như *sự ức chế* các ý nghĩ khó chịu, có thể quan sát được trong các ảnh scan não. Các nhà tạo mô hình các cơ chế hoạt động của não đã biết rằng các khái niệm khác nhau của tâm lý học là các mô tả của những quá trình vật lý thật. Các công trình nghiên cứu này hãy còn non trẻ nhưng đầy hứa hẹn.



HÌNH 49 Gõ chữ và chơi video tennis bằng tư tưởng (© Fraunhofer FIRST).

Các mặt hoạt động đặc biệt của não như học tập, ký ức, nhận dạng, định vị nguồn âm hay tạo bản đồ, sinh học thần kinh hiện đại và các thử nghiệm trên động vật cho phép ta tìm được các mô hình có thể sử dụng để cho ra các tiên đoán định lượng. Trang 270

Về mặt thực nghiệm, việc nghiên cứu các thiết bị chụp ảnh não từ có nhiều tiến bộ vượt bậc. Từ trường do các dòng điện não sinh ra nhỏ khoảng 10 fT, đòi hỏi các cảm biến phải ở nhiệt độ của helium lỏng đồng thời phải loại bỏ hết các tạp âm nền. Công việc quan trọng hàng đầu là cải tiến độ nhạy và độ phân giải của các hệ thống này. Cũng có nhiều tiến bộ về các mô hình điện toán và các giải thuật tính toán.

Toàn bộ chương trình sẽ sớm hoàn thành trong tương lai, một thiết bị đo rất nhạy có thể phát hiện những điều xảy ra trong não và có thể suy diễn hay 'đọc' tư tưởng của người từ các số đo này. Đọc được tư tưởng có thể là việc phức tạp nhất trong tất cả các thử thách mà khoa học và công nghệ phải giải quyết. Rõ ràng là một kỳ công như vậy sẽ đòi hỏi các thiết bị phức tạp và đắt tiền, sao cho không có mối hiểm nguy nào được tạo ra do việc trục trặc kỹ thuật. Có lý do chính đáng để người ta tin rằng không thể đọc đầy đủ các ý nghĩ bằng cách này, do không có sự định xứ của nhận thức bên trong não và do sự thay đổi của quá trình nhận thức từ người này sang người kia. Nhưng việc tìm hiểu và mô hình hoá não bộ sẽ là một công nghệ hữu ích trong nhiều phương diện của cuộc sống hằng ngày đặc biệt là đối với những người bất túc.

Trên đường hướng tới việc đọc tư tưởng, người ta đã có những tiến bộ nhỏ nhưng thú vị. Bằng cách đội một cái mũ đầy các điểm tiếp xúc điện – *giao diện não-máy tính* – và nhìn vào một màn hình máy tính người ta có thể gõ các ký tự nhờ sử dụng năng lượng của tư tưởng. Một hệ như vậy được trình bày trong Hình 49. Người sử dụng điều khiển máy tính một cách đơn giản bằng cách *tưởng tượng* rằng anh ta đang quay mũi tên trên màn hình bằng tay phải. Các dòng điện não do quá trình tưởng tượng tạo ra được đọc và dịch thành lệnh của máy tính bằng thiết bị điện tử. Hệ thống này hoạt động dựa trên các giải thuật mạng thần kinh và chỉ cần 20 phút huấn luyện của một chuyên viên. Bằng cách này hệ thống cho phép một người bị liệt hoàn toàn có thể giao tiếp với một người khác. Hệ thống nhanh đến nỗi người ta có thể chơi 'video tennis bằng não' trên màn hình máy tính. Xem 53

Người ta có thể gõ chữ bằng tư tưởng vì vùng não điều khiển tay ở gần xương sọ nên tín hiệu quay tay có thể được đọc lại với độ phân giải vừa đủ nhờ các điện cực trên nón. Các nhà nghiên cứu biết rằng giới hạn phân giải không cho phép đọc lệnh của một ngón tay đơn lẻ bằng cách này. Đối với công việc cần độ phân giải cao các điện cực vẫn phải *cắm* trong các vùng não thích hợp. Tuy vậy, hiện nay thời gian hoạt động của các điện

cực như vậy chỉ có vài tháng nên giấc mơ điều khiển máy móc hay tứ chi nhân tạo bằng cách này vẫn chưa có triển vọng.

Các nghiên cứu gần đây với giao diện não-máy tính cho ta thấy rằng trong tương lai không xa máy tính có thể đọc các số bí mật như PIN của credit card mà một người đang Xem 54 nghĩ trong đầu. Các thập niên tới chắc chắn sẽ cho nhiều kết quả nghiên cứu hơn.

Các câu đố vui và lạ về Điện động lực học

Không chỉ có động vật mà thực vật cũng có thể cảm nhận điện trường và từ trường. Ít nhất là về từ trường, các cảm biến của chúng hình như cũng sử dụng các cơ chế rất giống với cơ chế của động vật và vi khuẩn.

* *

Đối với các hệ có kích thước thông thường và lớn hơn, các động cơ điện từ là hiệu quả nhất. Đối với vật vi mô, các động cơ tĩnh điện hiệu quả hơn. Chúng được sử dụng trong các cảm biến và trong các bộ dẫn động nhỏ. Trái lại, các hệ công suất lớn sử dụng dòng điện giao phiên thay vì dòng điện thẳng.

* *

Nếu bạn tính vector Poynting của một nam châm có mang điện – hay đơn giản hơn, một điện tích điểm ở gần một nam châm – bạn sẽ có một kết quả đáng kinh ngạc: năng lượng điện từ chảy trong các vòng tròn bao quanh nam châm. Điều này xảy ra như thế Câu đố 97 s nào? Moment động lượng này từ đâu đến?

Điều tệ hơn là nguyên tử là một hệ như vậy – thực ra là 2 hệ. Tại sao ta không kể đến Xem 55 hiệu ứng này khi tính toán trong Thuyết lượng tử?

* *

Trong thiên nhiên không có sóng điện từ cầu hoàn hảo. Bạn có thể chứng minh điều này bằng cách sử dụng phương trình điện từ Maxwell hoặc không cần sử dụng chúng Câu đố 98 s không?

* *

Có nhiều loại gương. Một loại gương quan trọng đối với sóng vô tuyến là ion quyển; đặc biệt là vào ban đêm, khi các lớp hấp thu biến mất, ion quyển cho phép nhận sóng vô tuyến của các trạm ở xa. Khi thời tiết đẹp, người ta có thể nhận sóng vô tuyến gởi đi từ các trạm ở các điểm đối cực. Một gương sóng vô tuyến nữa là Mặt trăng; với các máy thu hiện đại người ta có thể nhận sóng vô tuyến, và trong vài năm gần đây, ngay cả tín hiệu TV cũng phản xạ từ Mặt trăng.

* *

Trong quá khứ, sách giáo khoa thường nói rằng vector Poynting, dòng năng lượng điện từ, không đơn trị. Ngay cả Richard Feynman cũng nói về vấn đề này trong *Lectures on Physics*, phần 27-4. Bạn có thể chứng minh rằng không có sự mơ hồ như vậy về vector Câu đố 99 s Poynting và tất cả các sách đó đều sai hay không?

* *

Không có từ tích. Nói chính xác hơn, không có hạt nào có từ tích khác 0. Nhưng ta có thể đưa ra đại lượng toán học 'từ tích' – thường được gọi là *cường độ từ cực* – miễn là mọi vật đều có lượng từ tích đối bằng nhau. Với điều kiện này, từ tích là divergence của độ từ hoá và tuân theo phương trình tĩnh từ Poisson, sánh vai đầy ấn tượng với điện tích.

Xem 56

* *

Một đối tượng được nghiên cứu gần đây là lời giải của các phương trình trường trong chân không có các trường tuyến *thắt gút*. Những lời giải như vậy chỉ có trong lý thuyết như nhiều nhà nghiên cứu đã chứng minh. Tuy nhiên chưa có ai kiểm chứng được một lời giải như vậy bằng thực nghiệm.

Xem 57

* *

Câu đố 100 s

Ổ cắm trên tường là một lưỡng cực do điện trường giao phiên điều khiển. Tại sao ổ cắm, cung cấp điện 230 V hay 100 V ở tần số 50 Hz hay 60 Hz không bức xạ điện từ trường?

* *

Câu đố 101 e

Tại sao máy biến thế chứa một lõi thiết từ?

* *

Câu đố 102 s

Có động cơ điện từ trong sinh hệ hay không?

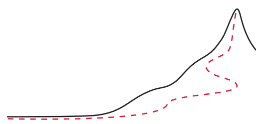
Tóm tắt về chuyển động của điện từ trường

Tóm lại, điện từ trường mang theo năng lượng, động lượng và moment động lượng. Ta cũng có thể nói là điện từ trường *chuyển động*. Chuyển động của điện từ trường được mô tả bằng nguyên lý tác dụng cực tiểu hay bằng các phương trình Maxwell.

Chuyển động của điện từ trường có thể được biểu diễn bằng chuyển động của các điện trường tuyến và từ trường tuyến. Chuyển động của trường bảo toàn năng lượng và động lượng. Chuyển động của điện từ trường có tính liên tục, tương đối, thuận nghịch và bất biến gương.

Các kết quả này có thể dẫn tới câu hỏi: Bản chất của ánh sáng là gì?





Chương 3

Ánh sáng là gì?

Xem 58

Bản chất của ánh sáng đã mê hoặc nhiều nhà thám hiểm thiên nhiên ít nhất là từ thời cổ Hy Lạp. Câu trả lời xuất hiện vào năm 1848, khi Gustav Kirchhoff nhận ra là các giá trị thực nghiệm ở 2 vế của phương trình sau bằng với nhau trong phạm vi sai số của phép đo:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \,. \tag{60}$$

Đẳng thức này cho ta câu trả lời của câu hỏi được đặt ra từ 2000 năm trước:

▷ Ánh sáng là sóng điện từ.

Mười năm sau, năm 1858, Bernhard Riemann** đã chứng minh bằng toán học rằng sóng điện từ trong chân không phải truyền đi với tốc độ c cho bởi phương trình trên. Ta nên nhớ rằng các đại lượng ở vế phải là điện và từ, trong khi đại lượng ở vế trái là quang. Biểu thức của Kirchhoff và Riemann thống nhất Điện từ học và Quang học. Giá trị hiện nay của tốc độ sóng điện từ mà ta thường gọi là c xuất phát từ tiếng Latin *celeritas*, là

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s} \,. \tag{61}$$

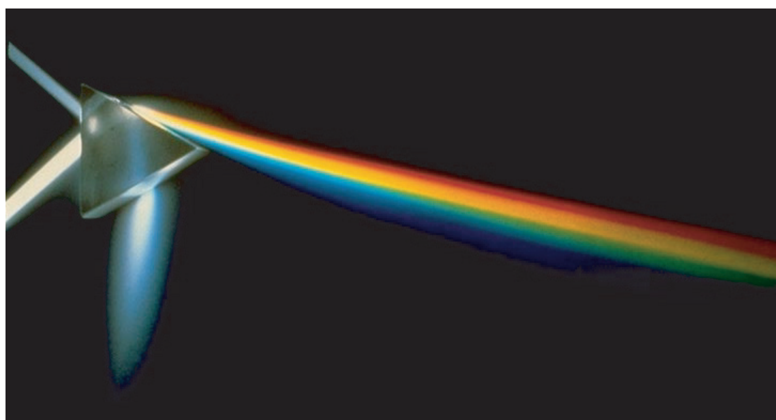
Trang 352

Giá trị của c là một số nguyên vì mét hiện nay *được định nghĩa* sao cho ta đạt được đúng trị số này.

Năm 1865, Maxwell tổng hợp tất cả dữ liệu về điện và từ thu thập được từ 2500 năm trước vào các phương trình của ông. Gần như không có ai đọc các bài báo của ông vì ông sử dụng quaternion trong bài viết. Những phương trình này được Heinrich Hertz và Oliver Heaviside đơn giản hoá một cách độc lập. Họ suy ra các kết quả ban đầu của Riemann: trong không gian trống rỗng các phương trình của thế điện từ có thể viết như sau

$$\Box \boldsymbol{A} = 0 \quad \text{hay} \quad \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 A_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 A_z}{\partial z^2} = 0 \,. \tag{62}$$

** Bernhard Riemann (b. 1826 Breselenz, d. 1866 Selasca), toán gia vĩ đại. Là một toán gia mở đường ông cũng nghiên cứu về không gian cong, cung cấp nhiều khái niệm toán học làm nền tảng cho Thuyết tương đối tổng quát nhưng lại sớm qua đời.



HÌNH 50 Ánh sáng trắng đi qua một lăng kính thuỷ tinh (photograph by Susan Schwartzenberg, © Exploratorium www.exploratorium.edu).

Câu đố 103 e Phương trình tiến hoá này là một *phương trình sóng* vì lời giải của nó có dạng

$$\boldsymbol{A}(t,\boldsymbol{x}) = \boldsymbol{A}_0 \sin(\omega t - \boldsymbol{k}\boldsymbol{x} + \delta) = (A_{0x}, A_{0y}, A_{0z}) \sin(2\pi f t - 2\pi \boldsymbol{x}/\lambda + \delta) , \qquad (63)$$

thường được gọi là *sóng điện từ phẳng* điều hoà. Ta cũng nhắc lại rằng *sóng* trong Vật lý là sự lan truyền các dao động và sóng *điều hoà* là sóng được mô tả bằng một đường hình sin. Quyển I, trang 292

Sóng điện từ phẳng điều hoà trong chân không nghiệm đúng phương trình (62) cho các giá trị *biên độ* A_0, *phase* δ và *tần số góc* ω bất kỳ miễn là tần số góc và *vector sóng* $\boldsymbol{k}$ thoả mãn hệ thức

$$\omega(\boldsymbol{k}) = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} k \quad \text{hay} \quad \omega(\boldsymbol{k}) = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \sqrt{\boldsymbol{k}^2} . \qquad (64)$$

Hệ thức $\omega(\boldsymbol{k})$ giữa tần số góc và vector sóng được gọi là *hệ thức tán sắc* là tính chất chính của mọi loại sóng như sóng âm, sóng nước, sóng điện từ hay các loại sóng khác.

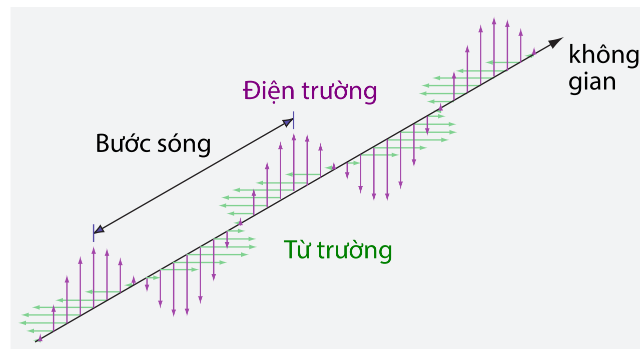
Hệ thức tán sắc (64) thì *tuyến tính* và bao hàm *vận tốc phase* c, là vận tốc chuyển động của đỉnh và hõm sóng, $c = \omega/k = 1/\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$, cho trở lại kết quả của Kirchhoff và Riemann.

Thí nghiệm trong không gian trống rỗng khẳng định rằng vận tốc phase c độc lập với tần số, biên độ và phase của sóng. Hằng số c này đặc trưng cho sóng điện từ và phân biệt chúng với các loại sóng khác trong đời sống thông thường.

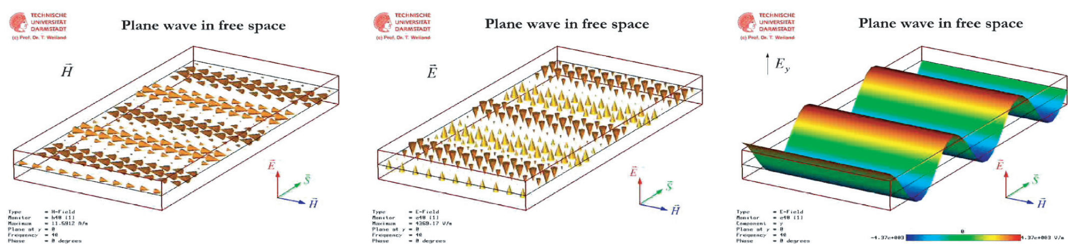
Sóng điện từ là gì?

Để hiểu rõ về sóng điện từ ta cần tìm hiểu tính chất của chúng. Phương trình sóng (62) của trường điện từ là phương trình *tuyến tính*; điều này có nghĩa là tổng hai trạng thái được chấp nhận là một trạng thái được chấp nhận. Về mặt toán học thì *sự chồng chập* 2 lời giải cũng là một lời giải. Do đó sóng điện từ có thể *giao thoa*, giống như mọi sóng tuyến tính khác.

Sự tuyến tính cũng dẫn tới việc 2 sóng có thể *cắt nhau* mà không làm nhiễu loạn sóng



HÌNH 51 Cấu trúc tổng quát của một sóng điện từ phẳng, đơn sắc và phân cực thẳng tại một thời điểm xác định.



HÌNH 52 Một sóng điện từ phẳng, đơn sắc và phân cực thẳng cho ta thấy sự tiến hoá của điện trường, từ trường và điện trường dưới dạng dễ hình dung hơn (Mpg films © Thomas Weiland).

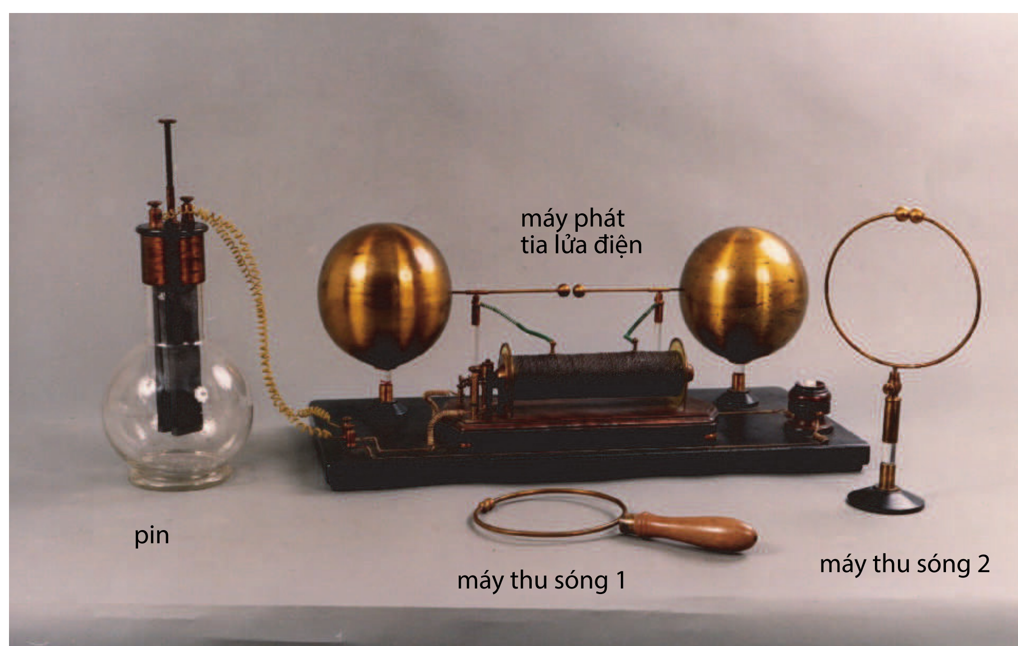


HÌNH 53 Heinrich Hertz (1857–1894).

kia và sóng điện từ có thể du hành qua điện từ trường tĩnh mà không bị xáo trộn gì.

Sự tuyến tính cũng có nghĩa là mọi sóng điện từ đều có thể được mô tả bằng sự chồng chập các sóng điều hoà hình sin, mỗi sóng được mô tả bằng biểu thức (63), cùng với tần số, biên độ và phase của nó. Như vậy đó cũng sẽ là điều hợp lý khi ta nói về *phổ* của sóng điện từ, tức là nói về khoảng tần số và các tính chất của sóng.

Trang 111 Sóng điện từ đơn giản nhất là sóng điều hoà phẳng có *tính phân cực thẳng*, được minh hoạ trong Hình 51. Ta cũng nên nhớ rằng đối với loại sóng đơn giản nhất này, điện trường và từ trường *cùng phase*. (Bạn có thể chứng minh điều này bằng thực nghiệm và bằng tính toán không?) Mặt được tạo thành từ mọi điểm có cường độ trường cực đại là các mặt phẳng song song, cách nhau (1/2) bước sóng; những mặt phẳng này di chuyển dọc theo hướng truyền sóng với vận tốc phase.



HÌNH 54 Một bản làm lại của một trong các máy phát và thu sóng điện từ đầu tiên của Heinrich Hertz (© Fondazione Guglielmo Marconi).

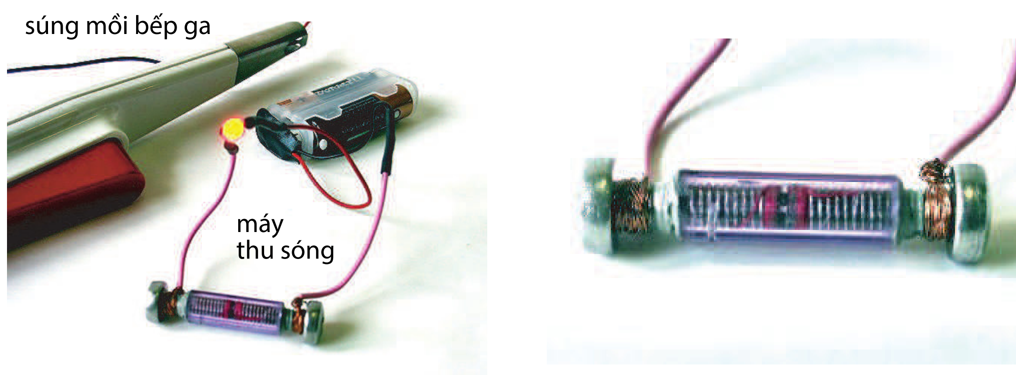
Những thí nghiệm với sóng điện từ

Sau khi Riemann và Maxwell tiên đoán sự hiện hữu của sóng điện từ ở những năm giữa 1885 và 1889, Heinrich Hertz* đã khám phá và nghiên cúu chúng. Ông đã chế tạo được một máy phát và máy thu sóng vô tuyến 2 GHz rất đơn giản, như ta thấy trong Hình 54. Sóng đó vẫn còn được sử dụng cho tới nay: điện thoại không dây và thế hệ mới nhất của mobile phone hoạt động ở tần số này – mặc dù máy phát và thu sóng ngày nay trông khác hơn. Hiện nay ta gọi đó là *sóng radio* vì các nhà vật lý có khuynh hướng gọi tất cả các trường lực chuyển động là *bức xạ*, bằng cách sử dụng lại một thuật ngữ Hy Lạp không đúng, có nghĩa gốc là 'sự phát xạ ánh sáng'.

Ngày nay ta có thể làm lại thí nghiệm của Hertz một cách đơn giản hơn nhiều. Như ta đã thấy trong Hình 55, với số tiền vài euro cũng đủ để bật từ xa một LED bằng một súng mồi bếp ga. (Sau mỗi lần kích hoạt ta phải gõ nhẹ coherer để chuẩn bị cho lần kích hoạt kế tiếp). Nối dây điện dài dùng làm antenne với đất sẽ làm cho thiết bị này tạo ra sóng truyền xa tới 30 m.

Hertz cũng đã đo được *tốc độ* của sóng do ông đã tạo ra. Đúng ra bạn cũng có thể đo tốc độ này ngay tại nhà bằng một thanh chocolate và một một lò vi ba (cũ). Một lò vi ba phát ra sóng vô tuyến 2.5 GHz – không khác mấy với sóng của Hertz. Bên trong lò, những sóng này tạo thành sóng dừng. Ta chỉ cần đặt một thanh chocolate (hay một

* Heinrich Rudolf Hertz (b. 1857 Hamburg, d. 1894 Bonn), nhà vật lý thuyết và thực nghiệm nổi tiếng. Đơn vị tần số được đặt theo tên ông. Dù mất sớm, Hertz là nhân tố quan trọng trong sự phát triển của Điện từ học, trong việc giải thích Thuyết của Maxwell và trong việc khai phá công nghệ vô tuyến truyền thông. Có thể tìm hiểu thêm về ông ở Trang 236 của Quyển I.



HÌNH 55 Máy phát sóng vô tuyến đơn giản nhất, một súng mồi bếp ga và dây điện, cùng với máy thu sóng vô tuyến đơn giản nhất làm từ một bộ pin, một LED và một coherer đơn giản làm từ một vỏ bút bi, 2 đinh ốc và một ít bột kim loại(© Guido Pegna).

miếng phô mai) trong lò và tắt lò ngay khi chocolate bắt đầu chảy. Bạn sẽ thấy rằng chocolate sẽ chảy tại những điểm cách đều nhau. Khoảng cách này là 1/2 bước sóng. Từ bước sóng và tần số đo được, tốc độ ánh sáng và sóng vô tuyến chỉ đơn giản là tích 2 giá trị này.

Nếu điều này vẫn chưa thuyết phục được bạn thì bạn có thể đo trực tiếp bằng cách gọi điện thoại cho một người bạn ở lục địa khác nếu bạn sử dụng được đường liên lạc qua vệ tinh (hãy chọn nhà cung cấp có giá rẻ). Có một khoảng thời gian trễ khoảng 1/2 giây giữa cuối câu và đầu câu trả lời của người bạn so với cuộc nói chuyện thông thường. Trong 1/2 giây này, tín hiệu đi tới vệ tinh địa tĩnh, đi xuống và trở lại theo cùng một cách. Tốc độ ánh sáng sẽ là $c \approx 4 \cdot 36\,000\,\mathrm{km}/0.5\,\mathrm{s} \approx 3 \cdot 10^5\,\mathrm{km/s}$, gần bằng với giá trị chính xác. Các nhà chơi radio tài tử cũng có thể cho tín hiệu phản xạ từ Mặt trăng để thực hiện thí nghiệm tương tự với độ chính xác cao hơn.

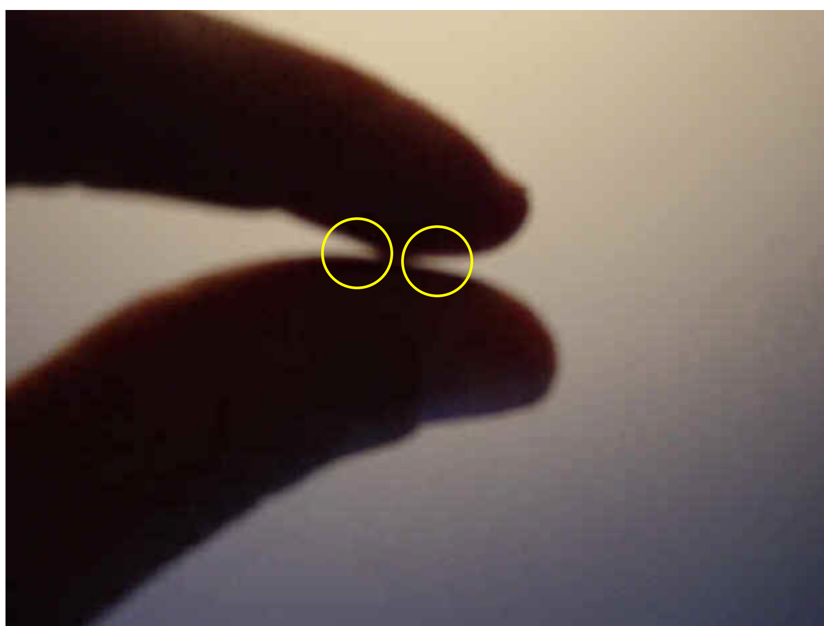
Tóm lại: sóng điện từ hiện hữu và chuyển động với tốc độ ánh sáng.

Ánh sáng là sóng

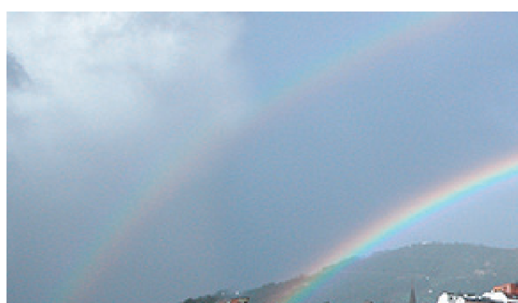
Phương trình sóng điện từ không chỉ giới hạn trong sóng vô tuyến; ta còn nhiều chuyện thú vị để kể về nó. Trước tiên, phương trình sóng khẳng định điều tiên đoán *ánh sáng* là sóng điện từ, mặc dù nó có tần số lớn hơn và bước sóng ngắn hơn sóng vô tuyến. Ta kiểm tra điều này qua 2 bước: bước đầu chứng tỏ rằng ánh sáng là sóng và sau đó ánh sáng là sóng điện từ.

Người đầu tiên cho rằng ánh sáng là (một loại) *sóng*, là vật lý gia uy tín Christiaan Huygens, vào năm 1678 .* Bạn có thể chứng minh ánh sáng là sóng bằng các ngón tay của mình. Chỉ đơn giản đặt tay cách mắt 1, 2 cm, nhìn lên bầu trời xuyên qua kẽ hở giữa 2 ngón tay gần chạm nhau. Bạn sẽ thấy nhiều vạch đen ngang qua kẽ hở. Những hình

* Christiaan Huygens (b. 1629 's Gravenhage, d. 1695 Hofwyck) là một trong các toán/lý gia quan trọng của thời đó. Huygens đã minh giải các khái niệm cơ học; ông cũng là một trong những người đầu tiên chứng tỏ rằng ánh sáng là sóng. Ông đã viết nhiều sách quan trọng về Lý thuyết xác suất, hoạt động của đồng hồ, Quang học và Thiên văn học. Giữa những thành tựu này, Huygens cũng đã chứng tỏ rằng tinh vân Lạp hộ gồm nhiều ngôi sao, đã khám phá Titan, vệ tinh của Thổ tinh và chứng tỏ rằng các vòng của Thổ tinh được tạo thành từ đá. (Khác với Thổ tinh có mật độ nhỏ hơn nước).



HÌNH 56 Các vạch nhiễu xạ có thể nhìn thấy giữa các ngón tay, nếu ta quan sát kỹ. (© Chuck Bueter)





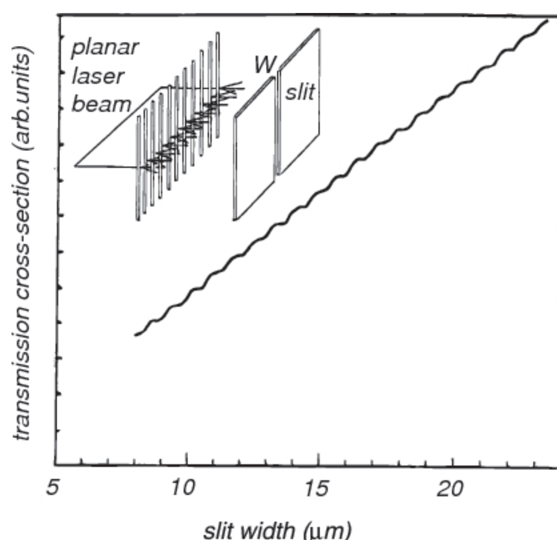
HÌNH 57 Cầu vồng sơ cấp , cầu vồng thứ cấp và các cầu vồng phụ dưới cầu vồng sơ cấp (© Antonio Martos and Wolfgang Hinz).

này là các vân giao thoa tạo bởi ánh sáng sau khe hở do 2 ngón tay tạo ra. Hình 56 cho ta thấy điều này. *Giao thoa* là hiệu ứng mà các kiểu thức biên độ xuất hiện khi các sóng chồng chập với nhau.* Các hình giao thoa phụ thuộc vào khoảng cách giữa các ngón tay. Do đó thí nghiệm này cho ta ước lượng được bước sóng ánh sáng và tần số của nó nếu ta biết tốc độ ánh sáng. Bạn có thể chứng minh điều này không? Câu đố 105 s

Về mặt lịch sử thì một hiệu ứng khác mới được xem là hiệu ứng chính thuyết phục các nhà nghiên cứu ánh sáng là sóng: cầu vồng phụ, các cầu vồng bên dưới cầu vồng chính hay cầu vồng sơ cấp. Nếu ta quan sát kỹ một cầu vồng, dưới cầu vồng chính đỏ-cam-vàng-lục-lam-chàm-tím, ta sẽ thấy các cầu vồng phụ (lục, lam, tím) yếu hơn. Xem 59 Tuỳ theo cường độ của cầu vồng, ta có thể quan sát được nhiều cầu vồng phụ này. Chúng bắt nguồn từ sự giao thoa của ánh sáng đi qua các giọt nước như Thomas Young đã chứng

Câu đố 104 s

* Năng lượng trong một vân giao thoa đi đâu?



HÌNH 58 Sự phụ thuộc của công suất ánh sáng truyền qua một khe vào bề rộng của khe (© Nature).

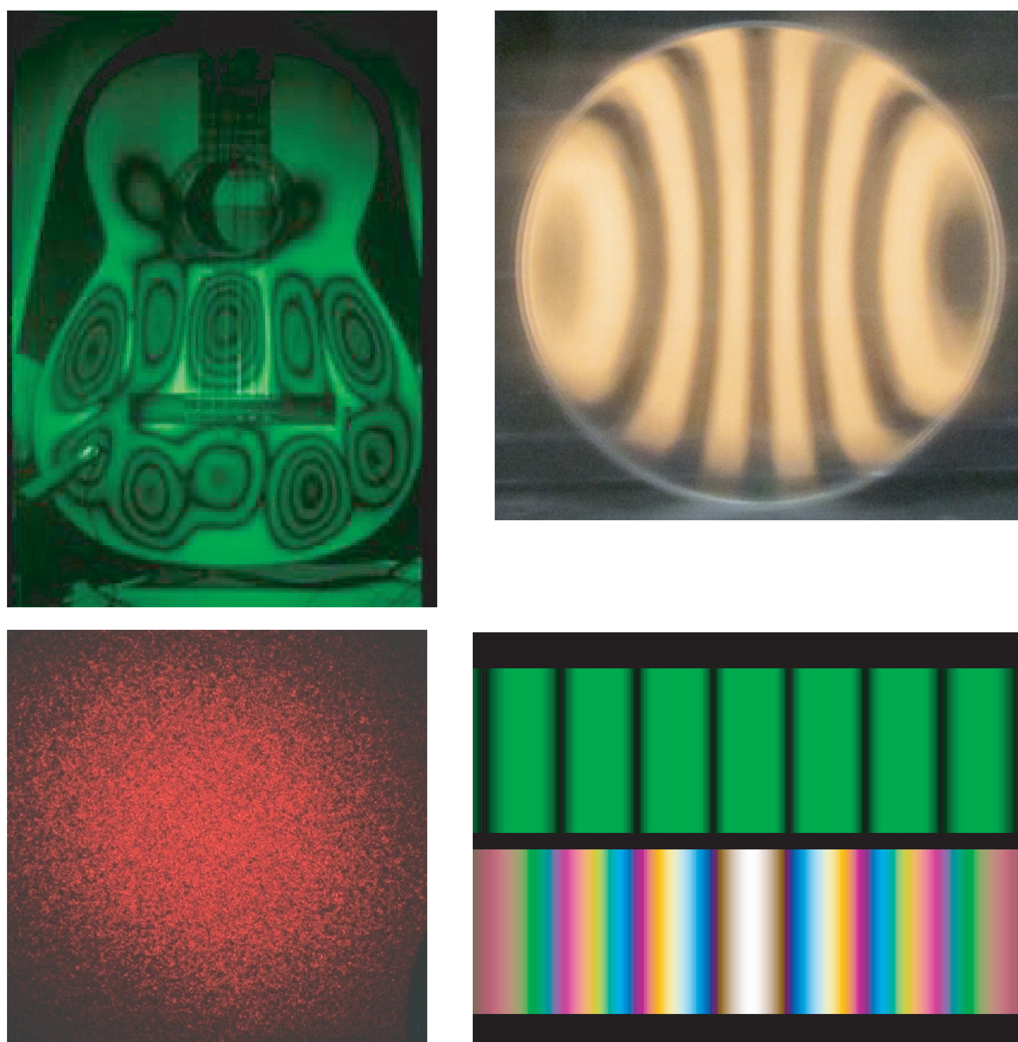
Trang 131 minh năm 1803.* Thật vậy, khoảng cách lặp lại của các cầu vồng phụ tuỳ thuộc vào sự Xem 60 phân bố của bán kính và hình dạng của các giọt nước trung bình tạo nên chúng. (Dưới Trang 125 đây là các chi tiết về các cầu vồng thông thường). Cả cầu vồng phụ lẫn Thomas Young đều là yếu tố thuyết phục mọi người rằng ánh sáng là sóng. Hình như vào thời đó các khoa học gia không tin vào đôi mắt hay ngón tay của mình hoặc bất cứ điều gì.

Bản chất sóng của ánh sáng có thể thể hiện bằng nhiều cách. Có lẽ thí nghiệm do nhóm vật lý gia Hoà Lan tiến hành năm 1990 là thí nghiệm đẹp nhất. Họ thí nghiệm với Xem 61 ánh sáng truyền qua một *khe* trên một bản kim loại. Hoá ra cường độ ánh sáng truyền qua phụ thuộc vào bề rộng của khe. Kết quả đáng kinh ngạc này được trình bày trong Hình 58. Bạn có thể giải thích nguồn gốc của các bậc cường độ khác thường này trong Câu đố 106 ny đường cong hay không?

Giao thoa ánh sáng là một hiện tượng phổ biến. Người ta thường quan sát được nó khi sử dụng laser. Một vài thí nghiệm được trình bày trong Hình 59. Cả sự giao thoa của ánh sáng trắng lẫn giao thoa bằng laser đều được sử dụng trong các thí nghiệm; ngày nay có cả một ngành công nghiệp sử dụng hiệu ứng giao thoa.

Với hình giao thoa màu lục trong Hình 59, bạn có thể tính khoảng cách vân, nếu biết khoảng cách 2 khe s, màu ánh sáng và khoảng cách d từ khe tới màn. (Thí nghiệm này Câu đố 107 s đầu tiên đã được sử dụng để tìm bước sóng ánh sáng.)

* Thomas Young (b. 1773 Milverton, d. 1829 London), đọc được kinh thánh lúc lên 2, nói được tiếng Latin lúc lên 4; bác sĩ y khoa, rồi ông trở thành giáo sư vật lý. Ông đưa khái niệm *giao thoa* vào Quang học, giải thích các vành Newton, cầu vồng phụ; ông là người đầu tiên xác định *bước sóng* ánh sáng, một khái niệm cũng do ông đưa ra và sự phụ thuộc của nó vào màu sắc. Ông là người đầu tiên tìm ra cách giải thích thị giác theo 3 màu của mắt, giải thích ánh sáng là sóng ngang sau khi đọc về sự khám phá ra hiện tượng phân cực. Tóm lại, Young khám phá hầu hết những điều mà ta học về ánh sáng ở trường trung học. Ông là thiên tài của thế giới: ông cũng nghiên cứu về việc giải mã các chữ tượng hình, về ngôn ngữ và đưa ra thuật ngữ 'Ấn-Âu', về việc đóng tàu và nhiều vấn đề kỹ thuật khác. Young cộng tác với Fraunhofer và Fresnel. Ở Anh thì ý tưởng về ánh sáng của ông không được chấp nhận vì những người ủng hộ Newton nghiền nát các quan điểm đối nghịch. Cuối đời thì các thành quả của ông cũng được cộng đồng vật lý biết đến nhờ công của Fresnel và Helmholtz.



HÌNH 59 Một số hình giao thoa: hình giao thoa mà một cây guitar đang chơi tạo ra trong phép toàn ký laser cho ta thấy phương thức dao động của vật thể, hình giao thoa được tạo ra bằng một kính thiên văn parabol phản xạ đường kính 27 cm, một hình giao thoa laser các vết lốm đốm trên một mặt nhám và hình nhiễu xạ do 2 khe hẹp song song được chiếu sáng bằng ánh sáng lục và ánh sáng trắng (© Bernard Richardson, Cardiff University, Mel Bartels, Epzcaw and Dietrich Zawischa).

Còn một bằng chứng ánh sáng là sóng nữa là sự phân cực ánh sáng. Ta sẽ tìm hiểu nó sau đây. Nhiều thí nghiệm về sự sáng tạo, phát hiện và đo đạc sóng ánh sáng đã được thực hiện trong khoảng thế kỷ 17 và 20. Thí dụ như năm 1800, William Herschel khám phá ra *ánh sáng hồng ngoại* bằng cách sử dụng một lăng kính và một nhiệt kế. (Bạn có thể đoán ra cách làm không?) Năm 1801, Johann Wilhelm Ritter (b. 1776 Samitz, d. 1810 Munich) một nhân vật khác thường của chủ nghĩa lãng mạn tự nhiên, đã phát hiện *ánh sáng tử ngoại* bằng cách sử dụng bạc chloride AgCl và một lăng kính. Một máy ảnh hiện đại có thể ghi lại ánh sáng hồng ngoại, tươi đẹp như trong Hình 60.

Câu đố 108 s



HÌNH 60 Cùng một cầu vồng trong vùng khả kiến và trong vùng hồng ngoại, cho ta thấy ánh sáng hồng ngoại tới trước ánh sáng đỏ (© Stefan Zeiger).

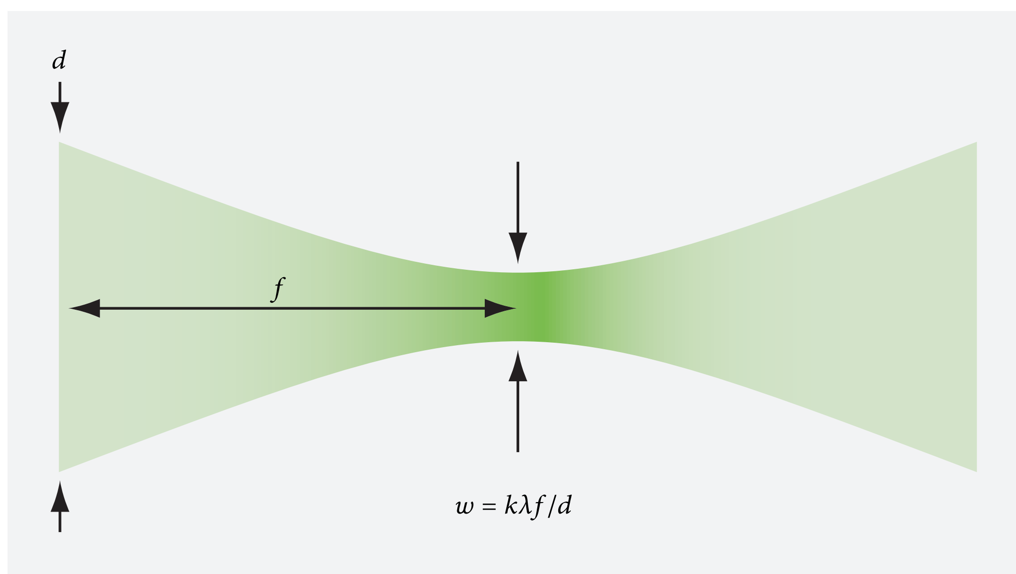
Vào cuối thế kỷ 20 người ta có thể khẳng định về các dao động của sóng ánh sáng. Bằng cách sử dụng các thí nghiệm khá phức tạp các nhà nghiên cứu đo được tần số dao
Xem 62 động của ánh sáng khả kiến *một cách trực tiếp*. Họ thường sắp xếp để đếm số dao động của sóng ánh sáng trong 1 giây! Tần số giữa 375 và 750 THz, đúng như tiên đoán. Vì tần số quá cao nên trong một thời gian dài người ta không thể đo được nó. Nhưng với các thí nghiệm hiện đại này, hệ thức tán sắc ánh sáng $\omega = ck$, đã được khẳng định với một
Xem 63 độ chính xác rất cao.

Kết quả của tất cả các thí nghiệm này là: sóng ánh sáng, giống như mọi loại sóng khác, có thể phân biệt bằng bước sóng hay tần số. Các loại quan trọng nhất đã được liệt
Trang 109 kê trong Bảng 14. Đối với ánh sáng khả kiến, bước sóng nằm giữa 0.4 µm, tương ứng với màu tím và 0.8 µm, tương ứng với màu đỏ. Bước sóng của sóng ánh sáng điều hoà khả kiến xác định *màu* của nó.

Ánh sáng là sóng. Phát biểu này cũng chấm dứt sự tranh luận kịch liệt trong thời trung cổ: Chùm ánh sáng hẹp cỡ nào? Một chùm ánh sáng *không thể* hẹp tuỳ ý. Tính chất sóng của ánh sáng hàm ý rằng mọi nỗ lực nhằm tạo ra một chùm tia sáng hẹp hết cỡ, bằng cách chiếu ánh sáng qua một lỗ nhỏ trên tường, đều tạo ra một chùm tia phân kỳ mạnh. Chùm tia sáng cũng không thể có ranh giới sắc nét. Việc cố gắng tập trung ánh sáng đơn sắc lên một điểm đều có giới hạn của nó như ta thấy trong Hình 61: với một hệ số bậc 1, tích của 2 đại lượng ngang wd bằng với tích của 2 đại lượng dọc λf. Tóm lại,

▷ Chùm tia sáng không thể là các vạch hẹp tuỳ ý

Đường kính của chùm tia được xác định và giới hạn bởi bước sóng và tính chất hình



HÌNH 61 Tiêu điểm của một chùm tia sáng hội tụ có một kích thước cực tiểu, bán kính thắt w, phụ thuộc bước sóng và tính chất hình học. Bán kính này cũng phụ thuộc số k, có bậc 1, mô tả sự thay đổi của cường độ ánh sáng theo phương ngang đối với chùm. Cũng nên chú ý rằng sự chuyển tiếp giữa chùm tia lục và nền không bao giờ sắc nét như hình vẽ.

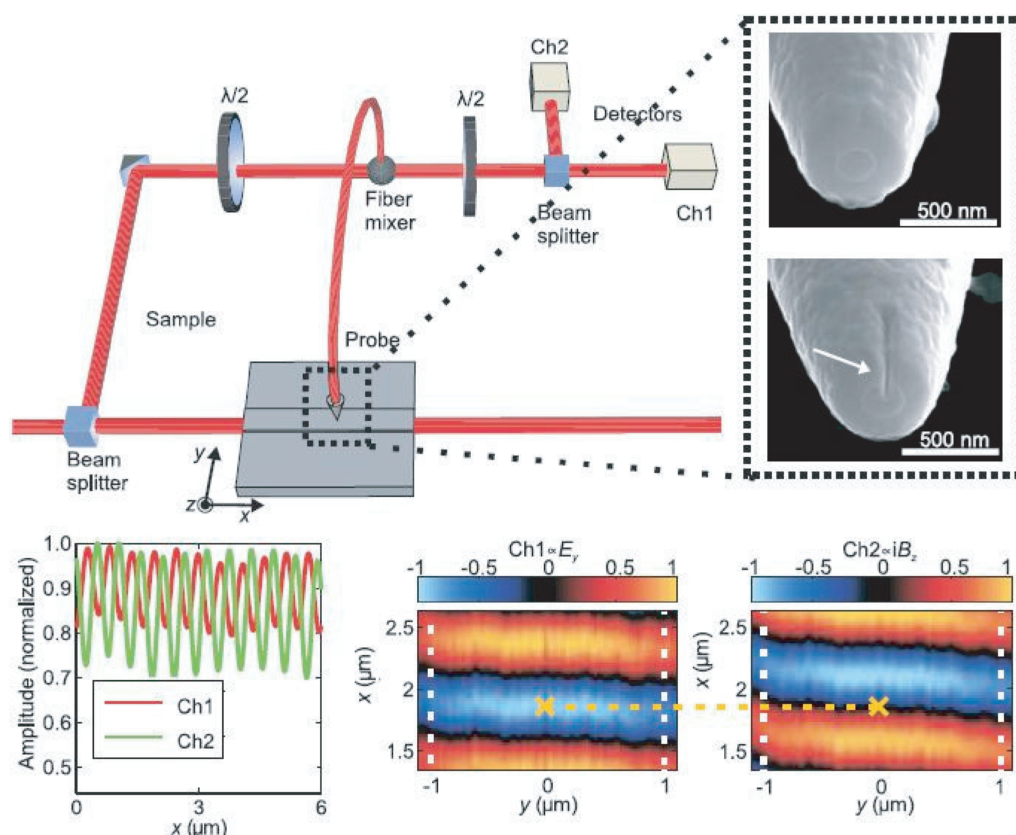
học của thiết bị tạo ra nó.

Ánh sáng và các sóng điện từ khác

Những thí nghiệm mà ta đã đề cập chứng tỏ rằng sóng điện từ chuyển động với tốc độ ánh sáng và ánh sáng là một sóng. Để khẳng định sóng ánh sáng thực sự là *sóng điện từ* có phần khó hơn. Bằng chứng thuyết phục nhất có lẽ là sự lặp lại thí nghiệm của Hertz Trang 101 với ánh sáng. Trong thí nghiệm Hertz được trình bày trong Hình 54, máy thu là một vòng kim loại hở; khi sóng – hay chính xác hơn, trường điện từ – đi đến, một tia lửa điện được tạo ra và ta phát hiện ra nó.

Trong một kỳ công phi thường thuộc phạm vi tiểu hình hoá, năm 2009, nhóm nghiên Xem 64 cứu của Kobus Kuipers đã tạo ra những vòng kim loại nhỏ hơn 1 micrometre và làm lại thí nghiệm Hertz với ánh sáng. Ấn tượng của thí nghiệm được cho trong Hình 62. Chúng đã có thể phân biệt rõ ràng các cực đại và cực tiểu cũng như độ phân cực của sóng. Như vậy thí nghiệm đã chứng tỏ rằng ánh sáng là sóng điện từ giống như sóng vô tuyến của Hertz.

Dĩ nhiên là những người ở thế kỷ 19 có ít phương tiện kỹ thuật để sử dụng nên khó bị thuyết phục hơn. Họ phải tìm ra những cách khác để chứng minh rằng ánh sáng có bản chất sóng điện từ. Vì các phương trình tiến hoá của trường điện từ là tuyến tính nên chỉ một mình điện trường hay từ trường không ảnh hưởng đến chuyển động của ánh sáng. Câu đố 109 e Mặt khác, ta đã biết rằng sóng điện từ chỉ do các điện tích có gia tốc phát ra và mọi ánh sáng đều được phát ra từ vật chất. Như vậy vật chất chứa đầy các trường điện từ và điện tích có gia tốc. Đến lượt điều này khiến cho ta hiểu được vật chất ảnh hưởng lên ánh sáng là do điện từ trường nội tại của nó và đặc biệt, điện từ trường *ngoài* sẽ làm thay đổi



HÌNH 62 Một thí nghiệm đo điện trường và từ trường của ánh sáng. Hình trên bên trái: sơ đồ dụng cụ thí nghiệm; hình trên bên phải: antenna, chỗ dấu mũi tên; hình dưới: dữ liệu đo được (© Kobus Kuipers)

ánh sáng do vật chất phát ra, cách vật chất tương tác với ánh sáng hay tổng quát hơn, toàn bộ tính chất của vật chất.

Việc tìm kiếm các hiệu ứng điện từ trên vật chất đã là nỗ lực chính của nhiều vật lý gia trong nhiều thế kỷ. Thí dụ như điện trường ảnh hưởng đến độ truyền xạ của dầu, một hiệu ứng do John Kerr khám phá năm 1875.* Việc khám phá hiện tượng chất khí đổi màu khi có tác dụng của trường ngoài cũng đem lại nhiều giải Nobel vật lý. Càng ngày người ta càng tìm thấy nhiều tính chất có liên quan tới ánh sáng của vật chất chịu tác dụng của trường ngoài. Một danh sách dài được cho dưới đây trong bảng trên Trang 230. Trừ một vài ngoại lệ, *mọi* hiệu ứng đều có thể mô tả bằng Lagrangian điện từ (48), hay bằng các phương trình Maxwell (52). Tóm lại, Điện động lực học cổ điển thực sự đã thống nhất được Điện học, Từ học và Quang học; mọi hiện tượng trong các lĩnh vực này, từ cầu vồng cho tới sóng vô tuyến, từ tia sét tới động cơ điện, đều là các mặt khác nhau của sự tiến hoá của điện từ trường.

Trang 88

Sau 2 thế kỷ nghiên cứu, rõ ràng là ánh sáng và sóng vô tuyến chỉ là một phần nhỏ

* John Kerr (b. 1824 Ardrossan, d. 1907 Glasgow), toán gia và vật lý gia, bạn và là người cộng tác với William Thomson.

trong *phổ của sóng điện từ*, chứa các sóng có bước sóng từ nhỏ nhất cho tới lớn nhất. Toàn bộ phổ được cho trong bảng dưới đây.

BẢNG 14 Phổ điện từ.

Tần số	Bước sóng	Tên	Tính chất chính	Xuất hiện	Công dụng
$3 \cdot 10^{-18}$ Hz	10^{26} m	**Giới hạn tần số thấp**		xem phần Vũ trụ học	
< 10 Hz	> 30 Mm	**Trường chuẩn tĩnh**		trường liên thiên hà, thiên hà, sao và hành tinh, não bộ, cá điện	truyền năng lượng, gia tốc và làm lệch các tia vũ trụ
		Sóng vô tuyến		thiết bị điện tử	
10 Hz–50 kHz	30 Mm–6 km	ELW	đi vòng quanh Trái đất, xuyên qua nước, kim loại	tế bào thần kinh, thiết bị điện cơ	truyền năng lượng, liên lạc xuyên qua vách kim loại, liên lạc với tàu ngầm www.vlf.it
50 – 500 kHz	6 km–0.6 km	LW	theo mặt đất cong, được dây thần kinh cảm nhận ('dây thần kinh thời tiết xấu')	do các cơn giông phát ra	liên lạc vô tuyến, điện tín, lò cảm ứng
500 – 1500 kHz	600 m–200 m	MW	bị bầu trời đêm phản xạ		radio
1.5 – 30 MHz	200 m–10 m	SW	đi vòng quanh Trái đất nếu được ion-quyển phản xạ, phá huỷ các khinh khí cầu nóng	do ngôi sao phát ra	phát sóng vô tuyến, radio tài tử, gián điệp
15 – 150 MHz	20 m–2 m	VHF	cho phép các máy phát hoạt động bằng pin	do Mộc tinh phát ra	điều khiển từ xa, mạng đóng, tv, radio tài tử, đạo hàng vô tuyến, quân sự, cảnh sát, taxi
150 – 1500 MHz	2 m–0.2 m	UHF	*như trên*, truyền thẳng		radio, walkie-talkie, tv, mobile phone, internet cáp, truyền thông bằng vệ tinh, tốc kế xe đạp
		Vi ba			
1.5 – 15 GHz	20 cm–2 cm	SHF	*như trên*, bị nước hấp thu	bầu trời đêm, do các nguyên tử hydrogen phát ra	thiên văn vô tuyến, sử dụng để nấu ăn (2.45 GHz), viễn thông, radar

Tần số	Bước sóng	Tên	Tính chất chính	Xuất hiện	Công dụng
15 – 150 GHz	20 mm– 2 mm	EHF	*như trên*, bị nước hấp thu		
		Hồng ngoại	cho ta khả năng quan sát vào ban đêm	do các vật ấm phát ra	chụp ảnh Trái đất bằng vệ tinh, Thiên văn học
0.3 – 100 THz	1000 –3 µm	IRC hay hồng ngoại xa		ánh sáng Mặt trời, sinh vật	nhìn xuyên qua y phục, phong bì và răng
100 – 210 THz	3 µm– 1.4 µm	IRB hay hồng ngoại trung		ánh sáng Mặt trời	sử dụng trong truyền thông bằng cáp quang cho điện thoại và truyền hình cáp
210 – 384 THz	1400– 780 nm	IRA hồng ngoại gần	xuyên qua da người nhiều cm	ánh sáng Mặt trời, bức xạ từ vật thể nóng	chữa trị vết thương, thấp khớp, Vật lý trị liệu trong thể thao, chiếu sáng ẩn
375 – 750 THz	800– 400 nm	**Ánh sáng**	không bị không khí hấp thu (nhiều), được phát hiện bằng mắt (lên tới hơn 900 nm nếu đủ công suất)	nhiệt ('ánh sáng nóng'), laser & phản ứng hoá học thí dụ như oxid hoá phosphor, đom đóm ('ánh sáng lạnh')	xác định độ thẳng, tăng cường quang tổng hợp trong nông nghiệp, trị liệu quang động lực, chữa trị chứng tăng bilirubin trong máu
384 – 484 THz	780– 620 nm	Màu đỏ	xuyên qua thịt	máu	tín hiệu báo động, sử dụng để chụp nhũ ảnh Xem 65
	700 nm	Đỏ sơ cấp trong phòng thí nghiệm		đèn tungsten có lọc	màu tham chiếu dùng trong việc in ấn, sơn, chiếu sáng và hiển thị
484 – 511 THz	620– 587 nm	Màu cam		các loại trái cây	thu hút chim và côn trùng
511 – 525 THz	587– 571 nm	Màu vàng		đa số các loài hoa	*như trên*; nền tối ưu cho chữ đen
525 – 614 THz	571–488 nm	Màu lục	độ nhạy của mắt lớn nhất	tảo và thực vật	đáp ứng hiệu suất chiếu sáng cao nhất ('độ sáng cảm nhận được') đối với quang năng, của mắt người
	546.1 nm	Màu lục sơ cấp trong phòng thí nghiệm		đèn thuỷ ngân	màu tham chiếu
614 – 692 THz	488– 433 nm	Màu lam		bầu trời, đá quý, nước	
	435.8 nm	Màu lam sơ cấp trong phòng thí nghiệm		đèn thuỷ ngân	màu tham chiếu

Tần số	Bước sóng	Tên	Tính chất chính	Xuất hiện	Công dụng
692 – 789 THz	433– 380 nm	Màu chàm, Màu tím		hoa, đá quý	
		Tử ngoại			
789 – 952 THz	380– 315 nm	UVA	xuyên qua 1 mm da, làm đen da, tạo ra vitamin D, ức chế hệ miễn dịch, gây ung thư da, phá huỷ thuỷ tinh thể	do Mặt trời, sao, laser và ngọn lửa phát ra	một số chim có thể nhìn thấy, chế tạo mạch tích hợp
0.95 – 1.07 PHz	315–280 nm	UVB	*như trên*, phá huỷ DNA, gây ung thư da	*như trên*	*như trên*
1.07 – 3.0 PHz	280– 100 nm	UVC, VUV	tạo ra các gốc oxygen từ không khí, diệt khuẩn, xuyên qua 10 µm da	do Mặt trời, sao, laser và hàn điện phát ra	khử trùng, tinh lọc nước, xử lý rác thải, chế tạo mạch tích hợp
3 –24 PHz	100–13 nm	EUV			bản đồ bầu trời, quang khắc silic
		Tia X	xuyên qua vật chất	do sao, plasma và hố đen phát ra	chụp ảnh mô
24 – 240 PHz	13–1.3 nm	Tia X mềm	*như trên*	bức xạ synchrotron	*như trên*
> 240 PHz hay > 1 keV	< 1.2 nm	Tia X cứng	*như trên*	phát ra khi electron nhanh chạm vào vật chất	Tinh thể học, xác định cấu trúc
> 12 EHz hay > 50 keV	< 24 pm	**Tia γ**	*như trên*	phóng xạ, tia vũ trụ	hoá phân tích, khử trùng, Thiên văn học
$2 \cdot 10^{43}$ Hz	$\approx 10^{-35}$ m	**Giới hạn Planck**		xem Quyển cuối của bộ sách này	

Sự phân cực của sóng điện từ

Điện trường trong ánh sáng hay trong sóng điện từ giống như biên độ của sóng nước, được tổng quát hoá trong không gian 3 chiều như ta thấy trong Hình 51 và Hình 52. Điều tương tự cũng đúng cho từ trường và 2 trường này vuông góc với nhau. Trang 100

Có một câu hỏi về ánh sáng và các sóng điện từ khác nảy sinh: Dao động xảy ra theo hướng nào trong không gian? Câu trả lời ẩn trong tham số $\boldsymbol{A}_0$ trong biểu thức (63), nhưng được hiển thị trong Hình 51 và Hình 52. Nói chung thì các trường trong sóng điện từ dao động theo các hướng *vuông góc* với hướng chuyển động. Do đó ta có thể nói:



HÌNH 63 Antenna dành cho sóng điện từ phân cực ngang và dọc (© Martin Abegglen, K. Krallis).

▷ Dù giống nhau về tần số và phase, sóng vẫn có chỗ khác: chúng có hướng *phân cực* khác nhau.

Thí dụ như sự phân cực của các máy phát sóng vô tuyến xác định việc ta phải giữ cho antenna của máy thu nằm ngang hay thẳng đứng, như ta thấy trong Hình 63. Đối với mọi sóng điện từ, sự phân cực được xác định, theo quy ước, bởi sự định hướng của vector *điện* trường vì trong thực tế mọi tác dụng của sóng điện từ đều do điện trường.

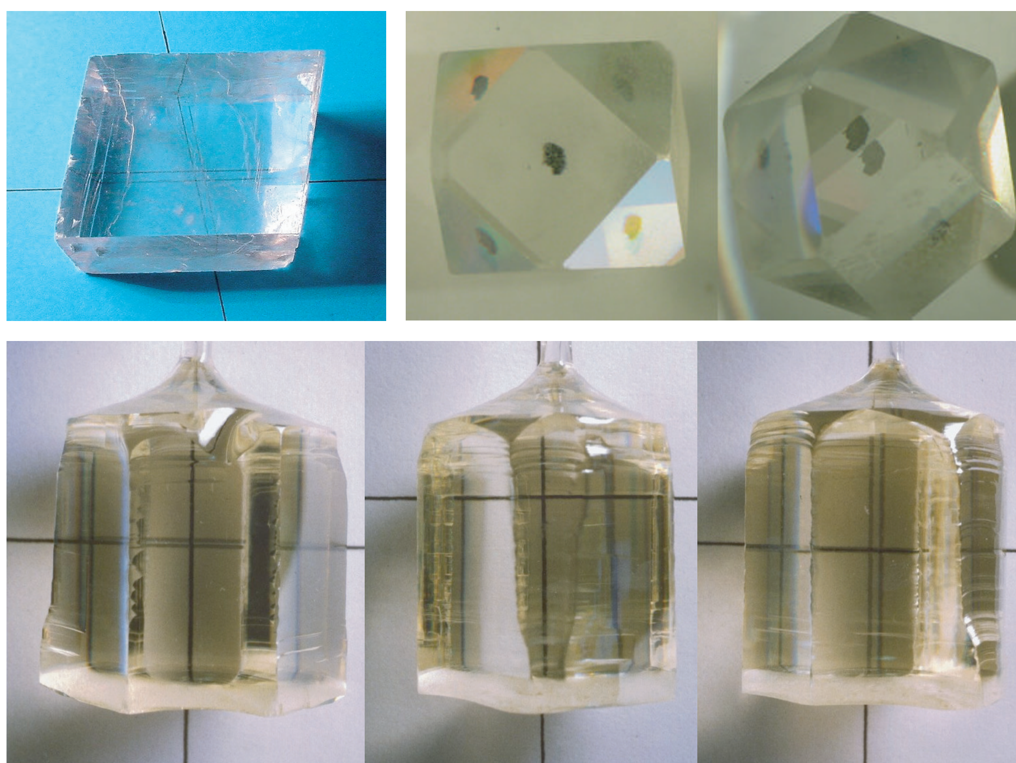
Người ta dễ dàng tạo ra ánh sáng phân cực, thí dụ như bằng cách chiếu nó xuyên qua một bản plastic được kéo giãn, được gọi là kính phân cực, hay bằng cách sử dụng thuỷ tinh, nước hay một số đá đặc biệt. Sự phân cực đã được Louis Malus (b. 1775 Paris, d. 1812 Paris) khám phá năm 1808 khi ông nhìn vào ảnh kép kỳ lạ do calcite, một tinh thể trong suốt được tìm thấy trong nhiều khoáng chất, tạo ra. Hình 64 cho ta 2 thí dụ. Calcite ($CaCO_3$) tách chùm ánh sáng làm 2 – đó là *tính lưỡng chiết* – và phân cực chúng một cách khác nhau. Đó là lý do mà calcite – hay tràng thạch, ($KAlSi_3O_8$), cũng cho cùng một hiệu ứng – là một phần của mọi bộ sưu tập tinh thể. Nếu bạn đã từng có một mảnh calcite trong suốt hay tràng thạch, hãy nhìn xuyên qua nó vào các chữ viết trên giấy và quay tinh thể quanh trục thẳng đứng. Tính chất của nó cũng khá kỳ lạ. (Bạn có
Câu đố 110 d
thể chứng tỏ rằng không thể có *tính tam chiết*, sự xuất hiện của 3 ảnh, hay không?)

Khi Malus khám phá ra sự phân cực ánh sáng, ông chưa biết ánh sáng là sóng điện từ. Nhưng khám phá của ông khẳng định bản chất sóng của ánh sáng.

Ánh sáng từ bầu trời – không phải từ Mặt trời – bị phân cực một phần. Sự phân cực xảy ra khi ánh sáng bị tán xạ bởi các phân tử trong không khí. Sự phân cực vuông góc
Xem 66
với hướng chỉ về phía Mặt trời, được minh hoạ trong Hình 65. Hình này cũng dễ nhớ theo nguyên tắc sau: *Một cầu vồng bị phân cực ở mọi nơi theo hướng tiếp tuyến.*

Các nhiếp ảnh gia cũng biết rằng khi Mặt trời mọc hay lặn, bầu trời chủ yếu bị phân cực theo hướng bắc - nam. Sự kiện này có thể làm cho một cái hồ hay một đồng hồ số trông đen ngòm lúc buổi chiều theo hướng bắc hay hướng nam – dưới một góc quan sát nào đó.

Ánh Mặt trời dưới nước cũng bị phân cực một phần. David Brewster (1781 Jedburgh-1868 Allerly) đã khám phá ra hiện tượng này vào năm 1812. Brewster, là một mục sư và



HÌNH 64 Tính lưỡng chiết trong tinh thể: calcite nằm trên các đường cắt nhau (hình trên bên trái, kích thước tinh thể khoảng 4 cm), rutile nằm trên một chấm mực, được chụp ảnh dọc theo quang trục (hình giữa), nghiêng đi một góc so với trục (hình trên bên phải, kích thước tinh thể khoảng 1 cm) và một tinh thể sodium vanadate bát giác có pha mangan, cho ta thấy 3 trạng thái khác nhau (hình dưới, đường kính tinh thể 1.9 cm) (© Roger Weller/Cochise College, Brad Amos, Martin Pietralla).

vật lý gia, đã nhận thấy rằng khi một chùm ánh sáng truyền qua một phần và bị phản xạ một phần tại một mặt phân cách, độ phân cực bị thay đổi. Hình 67 cho ta một thí dụ cực hạn. Hiệu ứng được ứng dụng trong nhiều quang cụ.

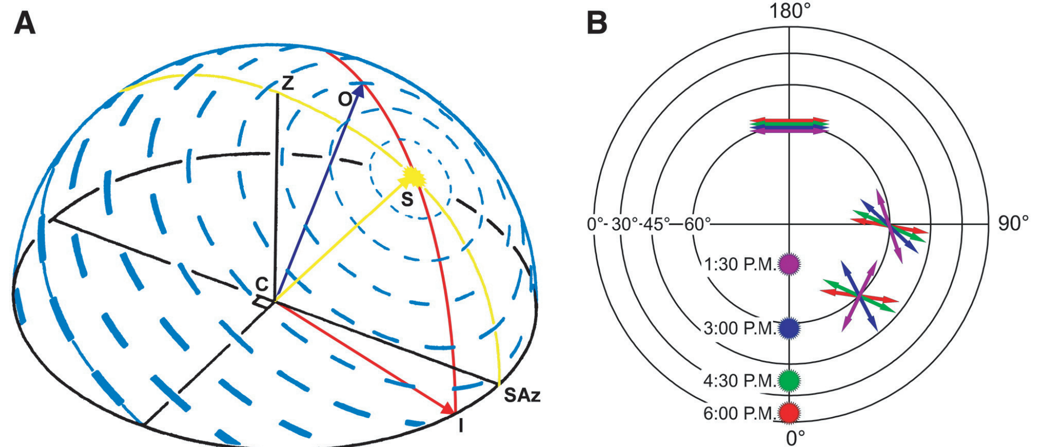
Nhiều côn trùng, nhện, một số loài chim và tôm có thể phát hiện sự phân cực bằng mắt của chúng. Ong mật và nhiều côn trùng khác sử dụng sự phân cực để suy ra vị trí của Mặt trời dù nó bị mây che và sử dụng hiệu ứng này để di chuyển. Một số loài *bọ hung* có thể sử dụng sự phân cực của ánh trăng để di chuyển và nhiều côn trùng sử dụng sự phân cực của ánh mặt trời để phân biệt mặt nước với ảo ảnh. (Bạn có biết tại sao không?)

Xem 67

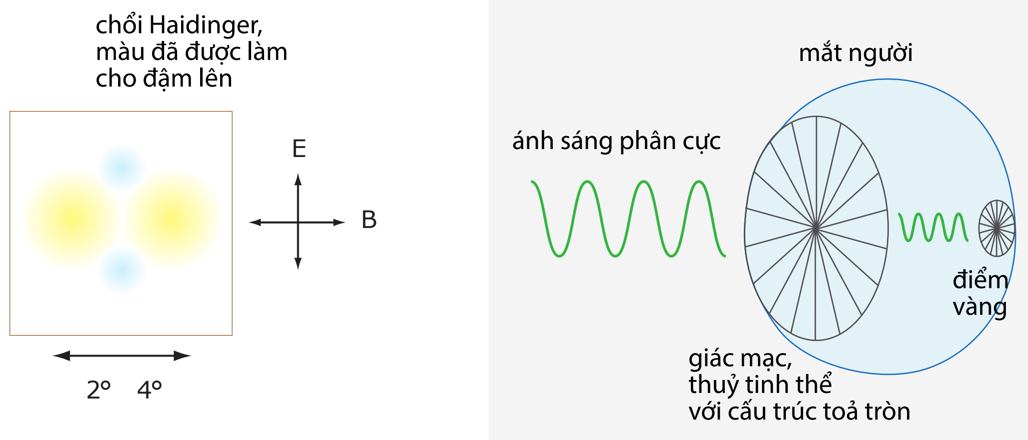
Câu đố 111 s

Năm 1844, nhà khoáng vật học Wilhelm Haidinger (b. 1795 Vienna, d. 1871 Dornbach) đã khám phá ra cách quan sát sự phân cực của ánh sáng bằng mắt người bình thường. Cách tốt nhất để quan sát hiệu ứng này là nhìn ở khoảng cách một cánh tay trên màn hình LCD và chậm rãi nghiêng đầu. Bạn sẽ nhận thấy một hình màu vàng hay xanh vàng *rất mờ*, rộng khoảng 2 ngón tay, chồng lên nhau trên nền trắng. Hình này được gọi là *chổi phân cực* hay *chổi Haidinger*. Minh hoạ sơ lược của nó được cho trong Hình 66. Hiệu ứng yếu ớt này biến mất sau vài giây nếu ta ngưng quay đầu dọc theo đường ngắm.

Xem 68



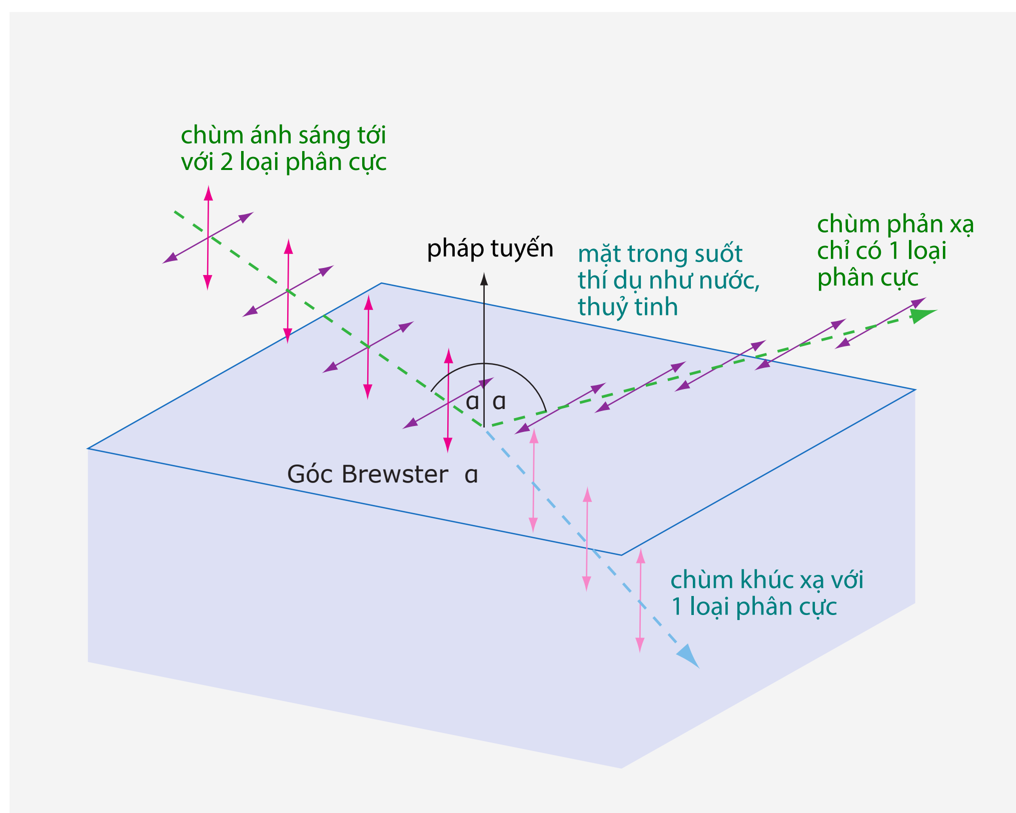
HÌNH 65 Hình bên trái: sự phân cực của ánh sáng ban ngày trên bầu trời quang khi độ cao của Mặt trời là 53°. Hướng và độ dày của các vạch xanh minh hoạ cho hướng và độ phân cực của điện trường khi một quan sát viên nhìn từ tâm C của hình cầu. Hướng luôn vuông góc với vòng tròn lớn (màu đỏ) được xác định bằng cách nối một điểm quan sát đã cho trên bầu trời O với vị trí của Mặt trời S. SAz chỉ độ phương vị của Mặt trời. Hình bên phải: hình chiếu của độ cao Mặt trời trên thiên đỉnh và hướng điện trường đối với các ánh sáng khác nhau tại 4 thời điểm ngày 1/8, ở 23.4° N, 5.2° E. Các vòng tròn biểu diễn độ cao và các đường thẳng biểu diễn thiên đỉnh. Các kiểu thức phân cực tròn của bầu trời được nhiếp ảnh gia sử dụng để hiệu chỉnh ảnh của bầu trời và được côn trùng, chim sử dụng để định hướng khi di chuyển. (© Keram Pfeiffer/Elsevier).



HÌNH 66 Chổi Haidinger và nguồn gốc phát sinh của nó trong mắt người.

Xem 69 Chổi Haidinger bắt nguồn từ tính lưỡng chiết của giác mạc và thuỷ tinh thể của mắt, cùng với hình thái học của điểm vàng bên trong mắt. Giác mạc có tác động như một kính phân cực định hướng theo tia, phụ thuộc màu sắc, trong khi điểm vàng có tác động như một kính phân tích có định hướng theo tia. Tóm lại, mắt người thực sự có khả năng nhìn thấy hướng dao động của điện trường và từ trường của ánh sáng.

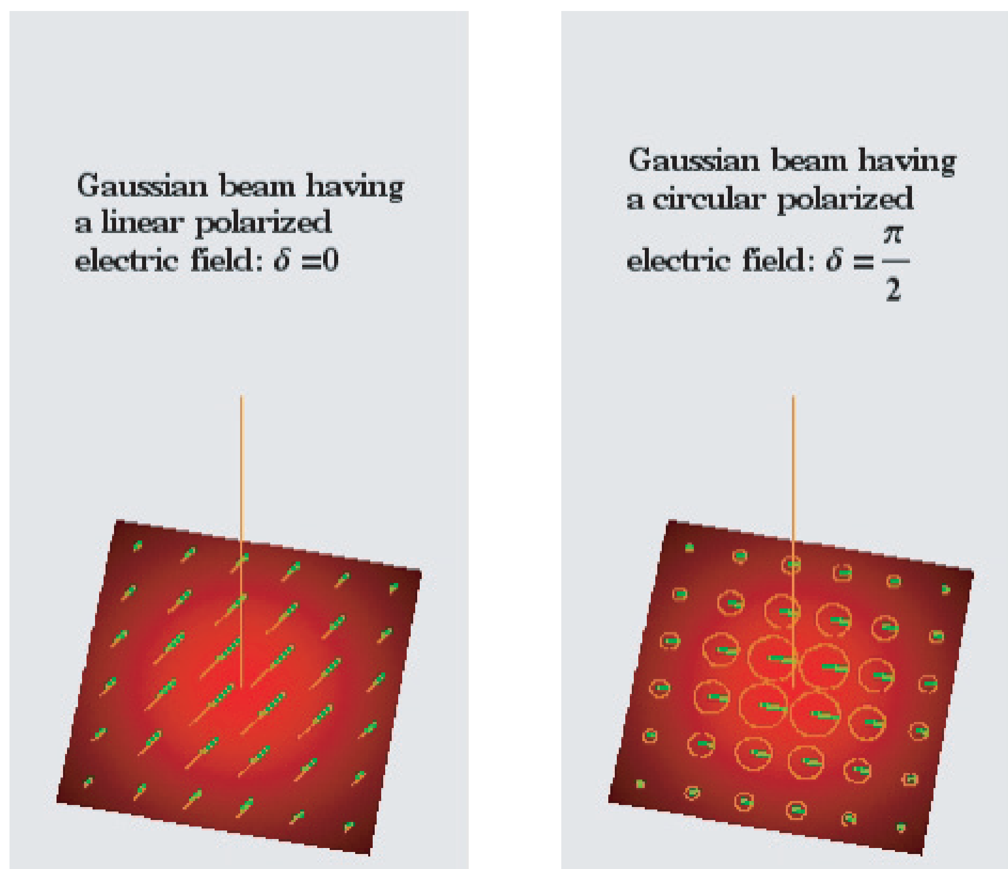
Người ta cũng có thể nhìn thấy chổi Haidinger màu vàng trên trời xanh miễn là không



HÌNH 67 Đối với mọi chất trong suốt, tại góc Brewster, chỉ có ánh sáng phân cực ngang bị phản xạ; ánh sáng phân cực dọc bị khúc xạ hoàn toàn. Góc Brewster là một đại lượng phụ thuộc vật liệu. Đối với nước, với phần lớn các bước sóng, nó bằng 53° và đối với thuỷ tinh nó bằng 56(1)°, được đo từ pháp tuyến của mặt phân cách.

khí trong sạch. (Thật vậy, nó có thể bị mờ đi do sự đa tán xạ và do đó ta có thể dùng nó để kiểm tra tính trong suốt của khí quyển). Trên trời thì chổi Haidinger chỉ có kích thước cỡ ngón tay cái đặt cách xa một cánh tay. (Kích thước góc là kích thước góc của điểm vàng). Cánh màu vàng của chữ thập chỉ về phía Mặt trời nếu bạn nhìn lệch đi 90° lên trên cao. Để thấy rõ, bạn hãy giữ một kính phân cực (hay mắt kính phân cực) hướng lên, nhìn xuyên qua nó, rồi quay nó quanh đường ngắm.

Khi ánh sáng phân cực được hướng vào một môi trường trong suốt, tỷ số giữa cường độ ánh sáng phản xạ và truyền qua phụ thuộc vào độ phân cực. Cường độ ánh sáng truyền qua có thể là 0 hay gần bằng 0 đối với một tổ hợp tới hạn của góc và độ phân cực. Khi các kỹ sư ở hãng xe Mercedes Benz quên điều này, nó đã làm công ty thiệt hại hàng triệu Euro. Sau kính chắn gió, một kiểu xe đã có một bộ cảm biến phát hiện ngày và đêm. Cảm biến quang diode hoạt động tốt trừ lúc thời tiết đẹp đẽ, trời xanh không mây; trong trường hợp này, cảm biến lại cho là "đêm". Bí mật đã được bộc lộ khi người ta nhận ra là khi gần tới góc Brewster, trong điều kiện thời tiết như vậy, ánh sáng của bầu trời bị phân cực và có ít tia hồng ngoại, là tia mà – được chọn một cách sai lầm – quang diode nhạy nhất. Kết quả là người ta phải sửa chữa hàng ngàn chiếc xe.



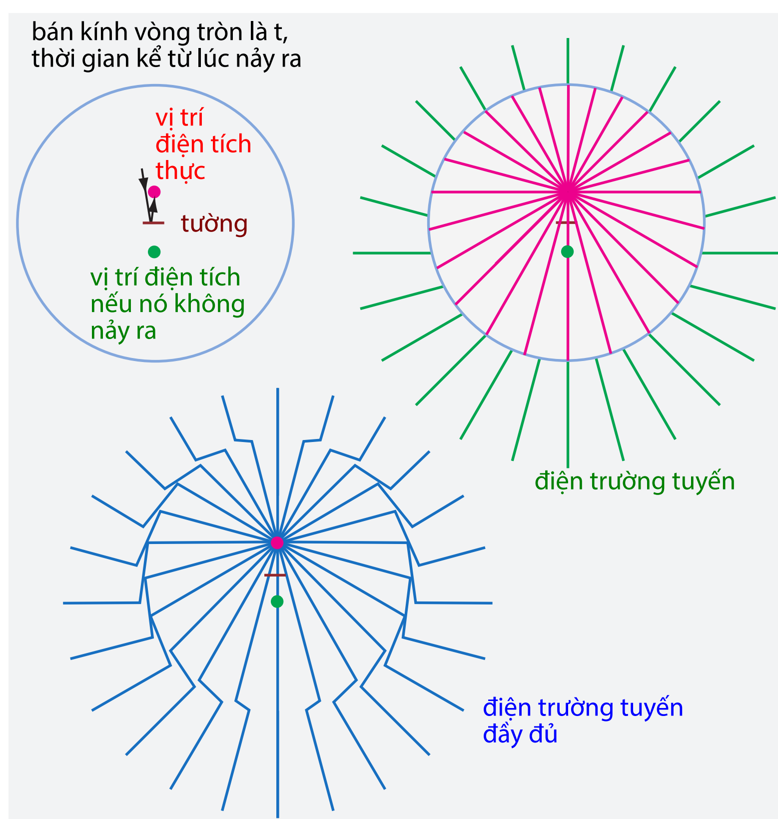
HÌNH 68 Hình bên trái: điện trường của một (chùm) sóng điện từ Gauss, phân cực thẳng; hình bên phải: chùm Gauss, phân cực tròn (QuickTime film © José Antonio Díaz Navas).

Cũng cần nhớ rằng mọi dạng phân cực của ánh sáng tạo thành một tập hợp liên tục. Tuy vậy, một sóng phẳng tổng quát có thể được xem như sự chồng chập của 2 sóng phân cực thẳng trực giao, có biên độ và phase khác nhau. Về mặt toán học, mọi sóng điện từ phân cực thẳng có cùng tần số và hướng đối với không gian vector 2 chiều.

Ánh sáng cũng có thể *không phân cực*. Ánh sáng không phân cực là một sự hoà trộn của nhiều ánh sáng phân cực khác nhau. Ánh sáng từ Mặt trời và các nguồn nhiệt là ánh sáng không phân cực điển hình bắt nguồn từ chuyển động Brown của nguồn phát xạ. Ánh sáng phân cực *một phần* là sự hoà trộn của ánh sáng phân cực và không phân cực.

Tóm lại, đối với sóng trong không gian 3 chiều, có 2 loại phân cực cơ bản. Người ta thường phân loại sóng thành 2 loại phân cực ngang và dọc hay nói khác đi là song song và vuông góc. Sóng phân cực tổng quát là sự chồng chập của 2 trạng thái cơ bản này. Hai trạng thái này được gọi là trạng thái phân cực *thẳng*.

Điều thú vị là sóng phẳng phân cực tổng quát cũng có thể được xem như là sự chồng chập của 2 *sóng phân cực tròn* phải và trái. Minh hoạ của sóng phân cực tròn được cho trong Hình 68. Trong thiên nhiên sự phân cực tròn rất hiếm. Ấu trùng đom đóm phát ra ánh sáng phân cực tròn. Ánh sáng phản xạ từ nhiều loại bọ hung là ánh sáng phân



HÌNH 69 Vẽ lại 3 giai đoạn của điện trường bao quanh một điện tích nảy ra từ một bức tường.

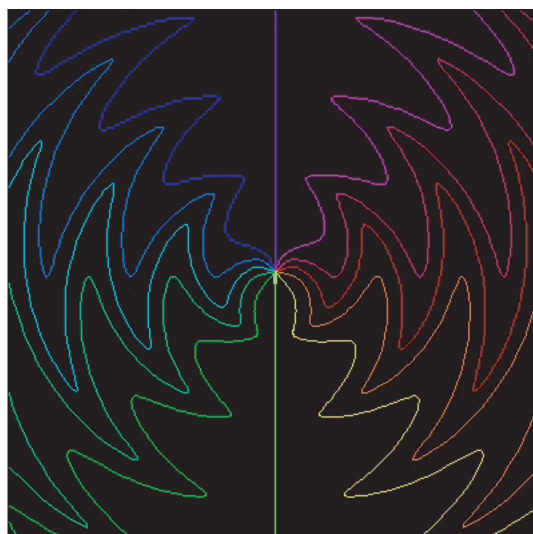
Xem 70 cực tròn, cũng như trong trường hợp của các loài giáp xác khác nhau, như tôm tít chẳng hạn. Loài sau – và có lẽ cả loài trước – cũng có thể phát hiện ra ánh sáng phân cực tròn.

Tầm xa của bức xạ điện từ

Sóng điện từ tần số thấp, hay sóng vô tuyến, thường được sử dụng để truyền các tín hiệu mobile phone, TV, radio và các chương trình truyền qua vệ tinh. Giống như ánh sáng, sóng vô tuyến bắt nguồn từ sự chuyển động của electron. Trong cuộc sống hằng ngày, ánh sáng (thường) được tạo ra từ các electron được gia tốc trong nguyên tử hay phân tử. Sóng vô tuyến có tần số thấp tức bước sóng dài, có thể được tạo ra một cách dễ dàng bằng các electron được gia tốc trong kim loại có kích thước cỡ bước sóng; những mảnh kim loại như vậy được gọi là *antenne*.

Sóng vô tuyến do một thiết bị cầm tay phát ra có thể mang các tín hiệu đi vòng quanh Trái đất. Nói cách khác, sóng vô tuyến có tầm xa lớn. Làm sao điều này xảy ra được? Một tĩnh điện trường thường không thể đo được sau một khoảng cách vài chục mét. Hoá ra cường độ trường của sóng vô tuyến giảm đi theo $1/r$, trong đó r là khoảng cách tới nguồn. Như vậy cường độ trường giảm đi chậm hơn tĩnh trường vốn giảm đi theo Xem 71 $1/r^2$. Tại sao lại như vậy?

Sự phụ thuộc vào $1/r$ của sóng vô tuyến có thể hiểu được một cách định tính nhờ các hình vẽ trong Hình 69. Nó biểu diễn điện trường bao quanh một điện tích trải qua một



HÌNH 70 Điện trường bao quanh một hạt dao động theo phương thẳng đứng (QuickTime film © Daniel Schroeder).

chuyển động có gia tốc đơn giản nhất: nảy ra từ một bức tường. Đúng ra sơ đồ sau cùng ở dưới cũng đủ chứng tỏ rằng điện trường ngang, *ở chỗ gãy* trong các trường tuyến, giảm đi theo $1/r$. Bạn có thể tìm ra sự phụ thuộc này không? Câu đố 112 d

Nếu ta vẽ lại các trường tuyến của một điện tích trải qua các lần bật nảy *lặp lại*, ta sẽ kiếm được các trường tuyến với các nếp gãy cách đều nhau chuyển động ra xa nguồn. Đối với một điện tích dao động *điều hoà*, ta kiếm được các trường tuyến như trong Hình 70. Như vậy hình này cho ta thấy cách hoạt động của một antenne (hay nguồn sáng) đơn giản nhất mà ta có thể tưởng tượng ra.

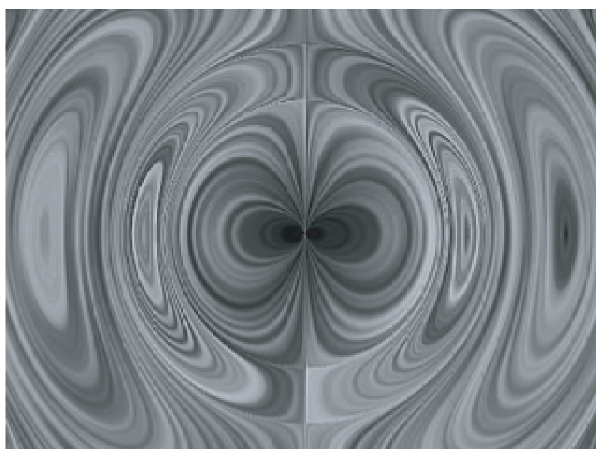
Độ lớn của điện trường ngang có thể được sử dụng để suy ra mối liên hệ giữa gia tốc a của điện tích q và công suất điện từ được bức xạ P. Trước tiên, điện trường ngang (được tính trong câu đố vừa qua) phải được bình phương để có mật độ điện năng địa phương. Rồi nó phải được nhân đôi để bao gồm từ năng. Sau cùng, ta lấy tích phân trên tất cả các góc; ta được hệ số 2/3. Tóm lại ta có

$$P = \frac{q^2 a^2}{6\pi\varepsilon_0 c^3} . \qquad (65)$$

Công suất bức xạ tổng cộng P phụ thuộc vào bình phương của gia tốc và điện tích được gia tốc. Đây là *công thức Larmor*. Nó cho ta thấy lý do tại sao máy phát vô tuyến cần cung cấp năng lượng và cho phép ta suy ra số lượng chúng cần. Nên nhớ rằng Hình 69 và Hình 70 cũng cho ta thấy antenne phát có một hướng phát xạ năng lượng *ưu tiên*.

Thông thường, nếu ta mô tả nguồn bức xạ điện từ như một lưỡng cực dao động thì chính xác hơn. Một biểu diễn của điện trường trong trường hợp này được cho trong Hình 71. Ở khoảng cách lớn, sóng có thể xem như sóng phẳng.

Trong mọi trường hợp, ta đều thấy cường độ sóng vô tuyến giảm chậm theo khoảng cách và ta có thể liên lạc bằng sóng vô tuyến.



HÌNH 71 Điện trường bao quanh một lưỡng cực dao động (QuickTime film © Daniel Weiskopf).

Sự trì trệ trong Vật lý – và Thuyết tương đối

Biểu thức của Gustav Kirchhoff và Bernhard Riemann từ thập kỷ 1850 của tốc độ ánh sáng và mọi sóng điện từ khác

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \qquad (66)$$

kỳ lạ đến nỗi ta phải suy nghĩ mỗi khi nhìn thấy nó. Hình như còn thiếu một điều gì đó quan trọng. Biểu thức này cho ta thấy tốc độ *c độc lập* với chuyển động riêng của quan sát viên đang đo điện từ trường và *độc lập* với tốc độ của nguồn phát xạ. Nói cách khác, tốc độ của ánh sáng độc lập với tốc độ của đèn và tốc độ quan sát viên. Điều này đã được mọi thí nghiệm khẳng định như ta đã giải thích trong Quyển nói về Thuyết tương đối.

Quyển II, trang 23

Ngoài ra, biểu thức (66) hàm ý rằng không có quan sát viên nào có thể đi nhanh hơn ánh sáng. Nói cách khác, ánh sáng *không* hành xử như một luồng các viên đạn: tốc độ của đạn phụ thuộc vào tốc độ của súng và mục tiêu. Mục tiêu có thể đi nhanh hơn đạn. Tốc độ ánh sáng là *tốc độ giới hạn*.

Các thí nghiệm khẳng định rằng tốc độ sóng vô tuyến, tia X và tia γ cũng độc lập với máy phát và máy thu. Thí nghiệm khẳng định các tốc độ này có cùng giá trị với tốc độ ánh sáng. Tất cả những điều này đều chứa trong biểu thức (66). Tóm lại,

▷ Biểu thức $c = 1\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$ chứng tỏ rằng tốc độ *c bất biến* và là *tốc độ năng lượng giới hạn* trong thiên nhiên.

Điều khó tin là *không một ai* tìm hiểu các hệ quả này cho đến khi Lorentz và những người khác bắt đầu tìm hiểu trong thập niên 1890, làm cho Einstein vào cuộc và giải quyết vấn đề vào năm 1905. Thuyết tương đối ẩn mình suốt 2 thế hệ! Giống như các trường hợp khác, sự phát triển của Vật lý hết sức chậm chạp.

Tính bất biến của tốc độ ánh sáng *c* là điểm cốt yếu phân biệt Thuyết tương đối đặc biệt và Vật lý Galilei. Vì mọi thiết bị điện từ – mọi động cơ điện – đều ứng dụng biểu

thức (66), nên chúng là bằng chứng sống động của Thuyết tương đối đặc biệt.

Thế giới sẽ trông như thế nào nếu ta ngồi trên một chùm ánh sáng?

Cuối thế kỷ 19, chàng Albert Einstein đã đọc một bộ sách của Aaron Bernstein bàn về tốc độ ánh sáng. Quyển sách có nêu câu hỏi là điều gì sẽ xảy ra nếu một quan sát viên chuyển động với tốc độ ánh sáng. Einstein đã suy nghĩ rất nhiều về vấn đề này, và đặc biệt, tự hỏi trong trường hợp đó ông sẽ quan sát loại trường điện từ nào. Sau đó Einstein đã giải thích rằng thí nghiệm tưởng tượng này đã thuyết phục ông rằng *không có gì* có thể di chuyển với tốc độ ánh sáng, vì trường được quan sát sẽ có một tính chất không tìm thấy trong thiên nhiên. Bạn có biết ông muốn nói đến điều gì không?

Xem 72
Câu đố 113 s

Ngồi trên một chùm ánh sáng sẽ kéo theo những hệ quả kỳ lạ:

— Bạn sẽ không có ảnh trong gương, giống như một con ma cà rồng.
— Ánh sáng sẽ không dao động mà sẽ là một tĩnh trường.
— Không có gì chuyển động giống như trong truyện Công chúa ngủ trong rừng.

Nhưng các thí nghiệm với tốc độ *gần bằng* vận tốc ánh sáng khá thú vị. Bạn sẽ:

— thấy nhiều ánh sáng tiến về phía bạn và gần như không có ánh sáng ở hai bên và ở phía sau; bầu trời sẽ có màu xanh/trắng ở phía trước và đỏ/đen ở phía sau;
— thấy rằng mọi điều chung quanh sẽ xảy ra rất rất chậm;
— cảm nhận được là một hạt bụi bé tí sẽ giống như một viên đạn chết người.

Câu đố 114 s
Bạn có thể nghĩ thêm được các hệ quả kỳ lạ khác không? Có một điều chắc chắn là Trái đất sẽ chuyển động chậm hơn khi so với tốc độ ánh sáng.

Ta có thể chạm vào ánh sáng không?

Xem 73
Quyển I, trang 99
Nếu một hạt thuỷ tinh nhỏ được đặt trên đỉnh một laser mạnh, hạt này sẽ lơ lửng trong không khí như ta thấy trong Hình 72.* Thí dụ về việc treo bằng ánh sáng chứng tỏ rằng ánh sáng có động lượng. Do đó, khác với những điều ta nói lúc đầu của cuộc hành trình lên đỉnh, ta *có thể* chạm vào ảnh! Đúng ra mức độ dễ dàng khi đẩy một vật có một tên riêng. Đối với hành tinh và tiểu hành tinh, nó được gọi là *albedo* và đối với một vật tổng quát nó được gọi là *hệ số phản xạ*, viết tắt là r.

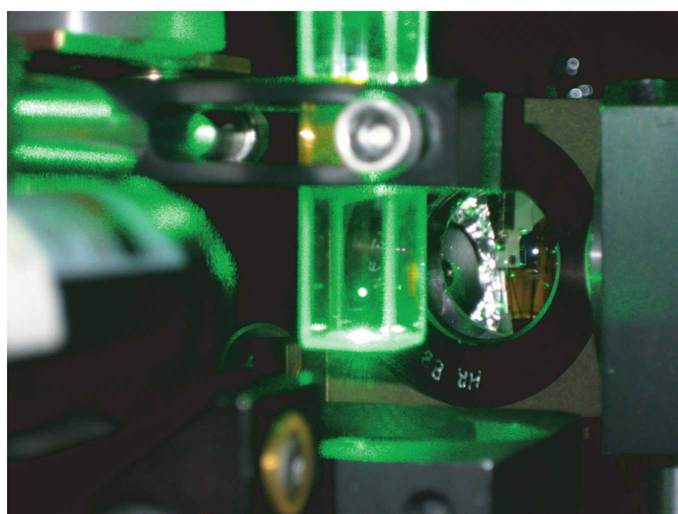
Câu đố 115 e
Giống như mọi loại điện từ trường và sóng, ánh sáng mang theo năng lượng; mật độ dòng năng lượng $\boldsymbol{T}$ là

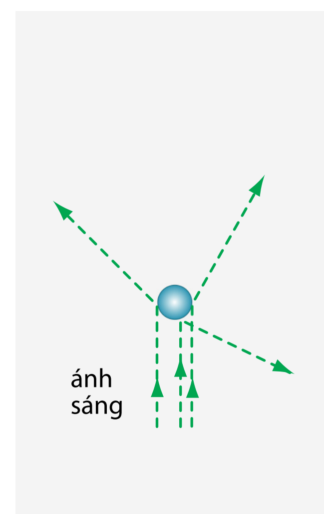
$$\boldsymbol{T} = \frac{1}{\mu_0}\boldsymbol{E}\times\boldsymbol{B} \quad \text{hay tính trung bình} \quad \langle T\rangle = \frac{1}{2\mu_0}E_{\max}B_{\max}\,. \tag{67}$$

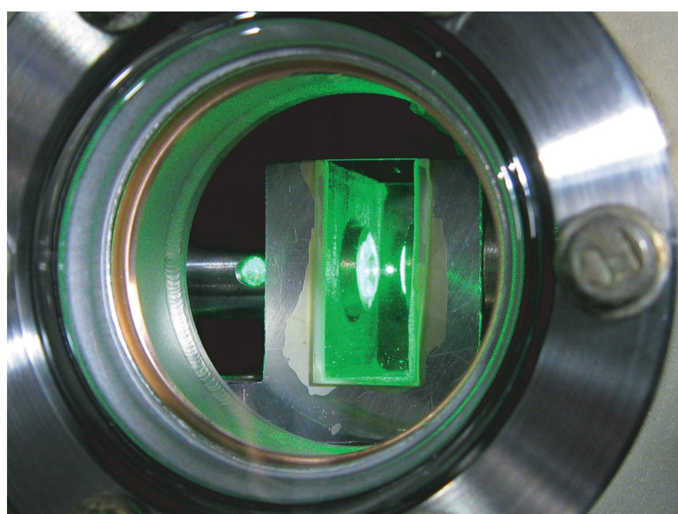
Điều hiển nhiên là ánh sáng cũng có động lượng P. Nó liên hệ với năng lượng E theo biểu thức

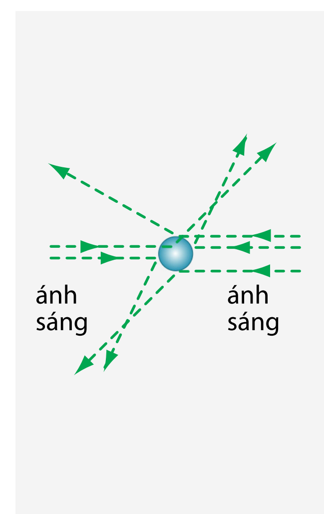
$$P = \frac{E}{c}\,. \tag{68}$$

* Vật nặng nhất đã được nhấc lên bằng laser có khối lượng 20 g; laser được sử dụng có kích thước của một cao ốc và phương pháp này cũng sử dụng một vài hiệu ứng phụ như sóng nội kích động để giữ yên vật trong không khí.









HÌNH 72 Việc treo lơ lửng một hạt thuỷ tinh nhỏ bằng laser đặt bên dưới và bằng 2 chùm laser ngang đối nhau (© Mark Raizen, Tongcang Li).

Câu đố 116 e Kết quả là áp suất p do ánh sáng tác dụng lên một vật được tính theo công thức

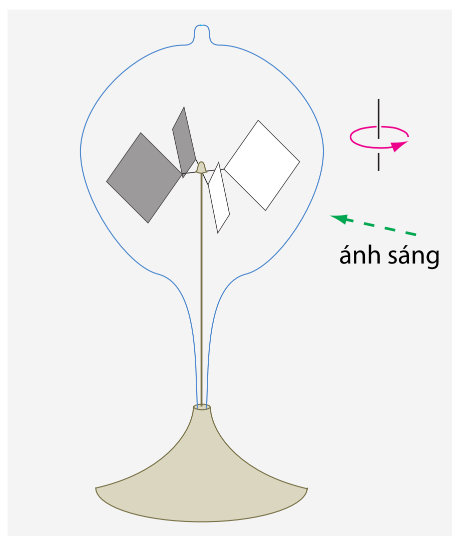
$$p = \frac{T}{c}(1 + r) \qquad (69)$$

trong đó đối với các thể đen ta có hệ số phản xạ $r = 0$ và đối với gương thì $r = 1$; các vật khác có giá trị trung gian. Bạn hãy đoán xem áp suất do ánh sáng Mặt trời tác dụng lên Câu đố 117 s một mặt đen diện tích 1 mét vuông là bao nhiêu? Đây có phải là lý do mà ta cảm thấy ban ngày có nhiều áp lực hơn ban đêm không?

Nếu không có laser người ta cần các thiết bị khá tinh vi để phát hiện động lượng hay áp suất bức xạ của ánh sáng. Từ năm 1619, Johannes Kepler đã đề cập trong *De cometis* rằng đuôi của sao chổi là do ánh sáng Mặt trời chạm vào các hạt bụi nhỏ tách ra từ sao



HÌNH 73 Đuôi của sao chổi McNaught, hình chụp ở Úc năm 2007 (© Flagstaffotos).





HÌNH 74 Cối xay quang thương mại quay ngược lại với chiều ánh sáng (Wikimedia).

chổi. Vì vậy đuôi luôn luôn hướng *ra xa* Mặt trời và bạn có thể kiểm tra lại. Ngày nay ta biết rằng Kepler đã đúng nhưng chứng minh giả thuyết này không phải là điều dễ dàng.

Để dò ra áp suất bức xạ của ánh sáng năm 1873 William Crookes* phát minh *bức xạ kế cối xay quang*. Dụng cụ này gồm có 4 bản mỏng, một mặt đen một mặt sáng bóng,

* William Crookes (b. 1832 London, d. 1919 London), hoá học gia và vật lý gia, khám phá thallium, khám

đặt trên một trục thẳng đứng, như trong Hình 74. Tuy vậy, khi Crookes làm xong dụng cụ – giống như dụng cụ được bán trong tiệm hiện nay – ông nhận thấy, giống như các vật khác, nó quay sai hướng cụ thể là mặt sáng bóng quay về phía Mặt trời! (Tại sao lại
Câu đố 118 s
như vậy?) Bạn có thể kiểm tra bằng cách hướng một bút trình chiếu laser lên nó. Sự vận hành này đã là một bài toán đố trong một thời gian dài. Việc giải thích có liên quan đến một lượng khí nhỏ còn sót lại trong bầu thuỷ tinh và sẽ kéo ta đi quá xa khỏi cuộc hành
Xem 74
trình. Chỉ đến năm 1901, nhờ sự ra đời của nhiều loại bơm tốt hơn, nhà vật lý người Nga Pyotr Lebedew mới tạo được chân không hoàn hảo để đo được áp suất ánh sáng bằng
Xem 75
một bức xạ kế hoàn thiện hơn. Lebedew cũng kiểm chứng được giá trị đã tiên đoán của áp suất ánh sáng và chứng minh sự đúng đắn của giả thuyết Kepler về đuôi sao chổi. Ngày nay người ta đã chế tạo được các cánh quạt tí hon có thể quay khi ánh sáng chiếu
Xem 76
lên nó, giống y như gió làm quay cối xay gió.

Nhưng ánh sáng không chỉ chạm và được chạm, người ta còn có thể *nắm lấy* nó. Trong thập niên 1980, Arthur Ashkin và cộng sự đã tạo ra một *kẹp quang* thực sự cho phép ta giữ, treo và di chuyển các quả cầu nhỏ trong suốt đường kính từ 1 tới 20 μm bằng
Xem 77
cách sử dụng các chùm laser. Người ta có thể làm điều này thông qua kính hiển vi sao cho có thể quan sát được những điều đang xảy ra. Hiện nay kỹ thuật này thường được sử dụng trong nghiên cứu sinh học trên khắp thế giới và đã được sử dụng để đo lực của các sợi cơ bằng cách dùng hoá chất gắn các đầu của chúng vào các quả cầu thuỷ tinh hay Teflon rồi kéo căng chúng bằng các kẹp quang.

Nhưng chưa hết. Trong thập niên cuối thế kỷ 20, nhiều nhóm nghiên cứu đã làm *quay*
Xem 77
các vật và như vậy đã tạo ra được các *mỏ lết quang* thực sự. Chúng có thể quay các hạt theo hướng tuỳ ý bằng cách thay đổi quang tính của chùm laser được dùng để bẫy hạt.

Đúng ra ta có thể dễ dàng suy ra được là nếu ánh sáng có động lượng thì ánh sáng phân cực tròn có *moment động lượng*. Một sóng như vậy có moment động lượng $\boldsymbol{L}$ là

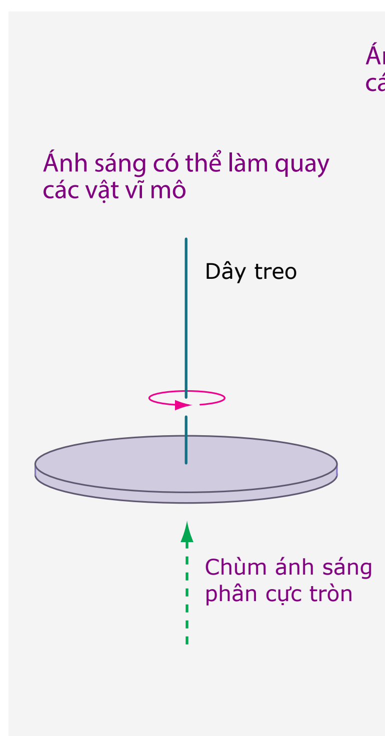
$$L = \frac{E}{\omega} \,, \qquad (70)$$

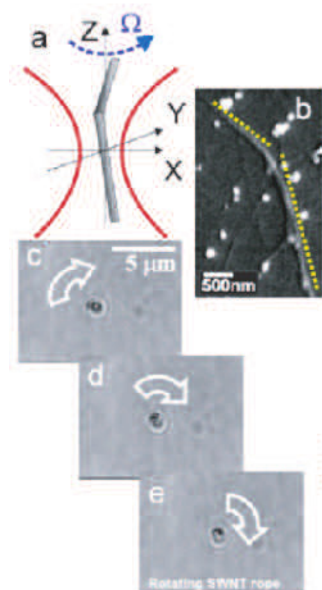
trong đó E là năng lượng. Moment động lượng của một sóng là $\lambda/2\pi$ nhân với động
Xem 78
lượng $\boldsymbol{p}$ của nó. Đối với ánh sáng, kết quả này đã được khẳng định vào đầu thế kỷ 20:
Câu đố 119 ny
một chùm ánh sáng có thể làm cho một vật nào đó (vật nào?) quay; trong chất lỏng, đây
Xem 79
là một một thí nghiệm tiêu chuẩn trong phòng thí nghiệm. Hai thí dụ được cho trong Hình 75. Dĩ nhiên là dùng một chùm laser thì hiệu ứng sẽ mạnh hơn. Nhưng trong thập kỷ 1960, một thí nghiệm chứng minh hoàn hảo đã được thực hiện bằng vi ba. Một chùm vi ba phân cực tròn từ một maser – thiết bị vi ba tương đương với laser – có thể làm quay một miếng kim loại. Thật vậy, đối với một chùm có đối xứng trụ, tuỳ theo chiều quay, moment động lượng sẽ song song hay đối song với hướng truyền sóng. Mọi thí nghiệm đều chứng tỏ ánh sáng cũng có moment động lượng, một hiệu ứng sẽ đóng vai trò quan trọng trong phần lượng tử của hành trình lên đỉnh của chúng ta.

Ta cũng nên chú ý rằng không phải tất cả sóng trong thiên nhiên đều có moment động lượng bằng năng lượng/tần số góc. Trong Thuyết lượng tử điều này chỉ đúng với

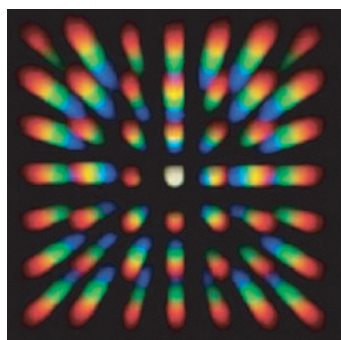
---

phá nhầm nhiều nguyên tố khác, tin vào Thuyết duy linh và là Hội trưởng Hội nghiên cứu tâm linh. Nhờ tổng hợp các thành tựu kỳ quái này ông được bầu vào Hội hoàng gia và nhận được nhiều giải thưởng và vinh dự khác.





HÌNH 75 Ánh sáng có thể làm quay các vật thể (© A.C. Ferrari)



HÌNH 76 Dù phân tích ánh sáng trắng: hãy nhìn một ngọn đèn nhỏ qua một cái dù đen trong đêm (© Wikimedia).

các sóng được tạo thành từ các hạt có spin = 1. Đối với sóng hấp dẫn moment động lượng bằng *2 lần* giá trị này và do đó chúng được tạo thành từ các hạt có spin = 2.

Xem 80

Điều này có ý nghĩa như thế nào đối với đuôi sao chổi mà ta đã đề cập ở trên? Vấn đề đã được giải quyết trọn vẹn năm 1986. Một vệ tinh được đưa lên độ cao 110 000 km và thả ra một đám mây barium. Người ta có thể nhìn thấy đám mây này từ Trái đất và sau đó nó mọc ra một cái đuôi được nhìn thấy từ Trái đất: đó là sao chổi nhân tạo đầu tiên. Hoá ra hình dạng đuôi sao chổi một phần bắt nguồn từ sự va chạm của photon và một phần là do gió mặt trời và cũng do từ trường.

Tóm lại, ánh sáng có thể tiếp xúc, quay và ta có thể chạm vào nó. Điều hiển nhiên là nếu ánh sáng có thể quay các vật thể thì nó cũng có thể *bị quay*. Bạn có thể tưởng tượng

Câu đố 120 s ra cách làm điều này không?

Chiến tranh, ánh sáng và những lời nói dối

Từ những tác dụng bé nhỏ của phương trình (69) đối với áp suất ánh sáng ta suy ra là ánh sáng không hữu hiệu trong việc đánh vào các vật. Mặt khác, ánh sáng có thể *đốt nóng* các vật như khi ta cảm nhận ánh Mặt trời hay khi da bị một chùm laser khoảng 100 mW hay mạnh hơn chạm vào. Cũng vì lý do này bút trình chiếu laser rẻ tiền cũng gây nguy hiểm cho mắt.

Trong thập niên 1980 và trong năm 2001, một số người đã đọc quá nhiều tiểu thuyết khoa học giả tưởng đã cố gắng thuyết phục quân đội – những người cũng thích thú với thói quen này – rằng laser có thể được sử dụng để bắn hạ các phi đạn và rất nhiều tiền thuế đã được tiêu pha trong việc phát triển các laser như vậy. Sử dụng định nghĩa của vector Poynting và thời gian va chạm khoảng 0.1 s bạn có thể ước lượng trọng lượng và Câu đố 121 ny kích thước của pin cần thiết để một thiết bị như vậy hoạt động không? Điều gì sẽ xảy ra trong thời tiết u ám và mưa nhiều?

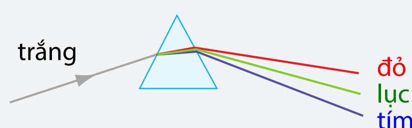
Những người khác cố gắng thuyết phục NASA nghiên cứu khả năng đẩy một hoả tiễn bằng cách sử dụng ánh sáng phát xạ thay vì luồng khí phun. Bạn có thể ước lượng được tính bất khả thi của điều này hay không?

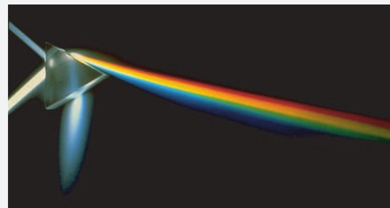
Màu sắc là gì?

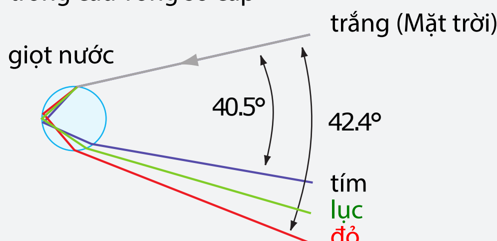
Ta đã thấy sóng vô tuyến có một tần số nào đó là khả kiến. Trong phạm vi đó, các tần số khác nhau tương ứng với các màu khác nhau. (Bạn có thể thuyết phục một người bạn Câu đố 122 s về điều này không?) Nhưng câu chuyện đến đây chưa kết thúc. Nhiều màu sắc có thể được tạo ra bằng một bước sóng đơn lẻ tức là ánh sáng *đơn sắc*, hay bằng *sự hoà trộn* của nhiều màu sắc khác nhau. Thí dụ như màu vàng tiêu chuẩn, nếu thuần tuý có thể là một chùm sóng điện từ có bước sóng 575 nm, hay nó có thể là một hoà trộn của màu lục tiêu chuẩn 546.1 nm và màu đỏ tiêu chuẩn 700 nm. Mắt không thể phân biệt 2 trường hợp này; chỉ có quang phổ kế là phân biệt được. Trong đời sống thông thường, mọi màu sắc đều là sự hoà trộn, trừ màu vàng của đèn đường, màu của chùm laser, của quang phổ trong phòng thí nghiệm. Bạn có thể tự kiểm tra bằng cách sử dụng một cây dù hay một CD: chúng phân tích ánh sáng nhưng chúng không thể phân tích các màu thuần tuý như Câu đố 123 e màu của bút trình chiếu laser hay màn hình LED. Ngay cả màu sắc của cầu vồng cũng không thuần tuý vì chúng hoà trộn với ánh sáng trắng của nền trời và vì đường kính của Mặt trời làm nhoè quang phổ.

Đặc biệt, *ánh sáng trắng* là sự hoà trộn của một dãy màu liên tục với mỗi bước sóng có một cường độ riêng. Nếu bạn muốn kiểm tra điều này mà không có nguồn sáng thì chỉ cần giữ hình dưới bên phải trong Hình 77 gần với mắt sao cho bạn không thể điều tiêu vào các vạch tròn nữa. Các viền trắng không sắc nét sẽ có bóng màu hồng hay lục. Ba màu này bắt nguồn từ sự không hoàn hảo của mắt người được gọi là *sắc sai*. Sắc sai có một hệ quả: không phải mọi tần số ánh sáng đi theo cùng một con đường qua thuỷ tinh thể và do đó chúng chạm vào võng mạc tại những điểm khác nhau. Điều này giống với hiệu ứng xảy ra trong các lăng kính hay trong các giọt nước làm xuất hiện cầu vồng.

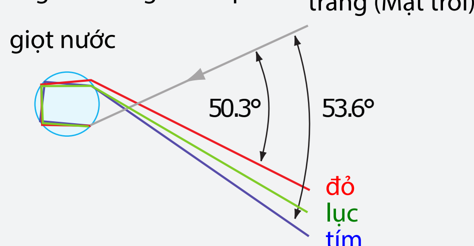
Hình bên trái trong Hình 77 giải thích cách hình thành cầu vồng. Chủ yếu là do sự phản xạ bên trong các giọt nước trên bầu trời của ánh sáng đến từ Mặt trời, còn sự khúc xạ tại mặt phân cách không khí-nước phụ thuộc vào bước sóng là nguyên nhân











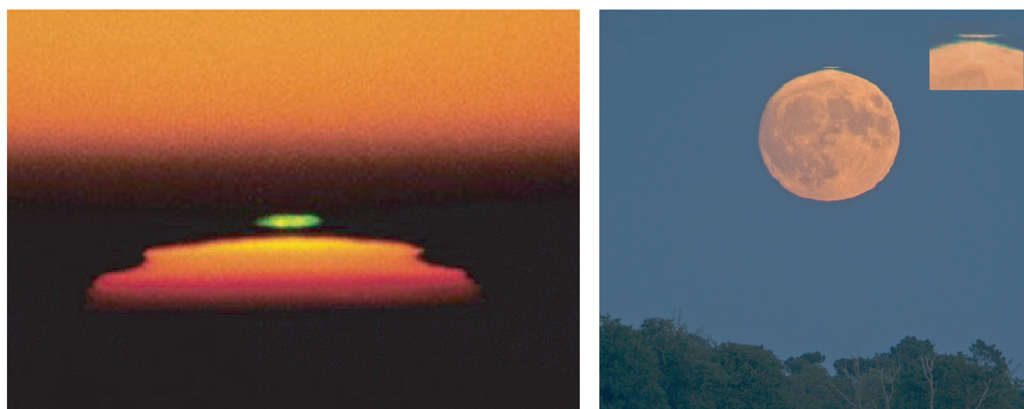
HÌNH 77 Ba thí nghiệm chứng tỏ ánh sáng trắng là sự hoà trộn các màu sắc (với các độ lệch được phóng đại lên): sự phân tích bằng lăng kính, sự hình thành của cầu vồng (được đơn giản hoá như đã giải thích trong sách) và những viền màu được nhìn thấy trên một kiểu thức các vòng tròn đen trắng (photograph by Susan Schwartzenberg, © Exploratorium www.exploratorium.edu).

Xem 81

của các đường đi khác nhau của các màu. Hai người đầu tiên kiểm chứng điều này là Theodoricus Teutonicus de Vriberg (*c.* 1240 tới *c.* 1318), trong những năm từ 1304 tới 1310 và đồng thời là toán gia Ba Tư Kamal al-Din al-Farisi. Thí nghiệm của họ khá thông minh và đơn giản nên ai cũng có thể làm lại tại nhà mình. Họ tạo ra một giọt nước lớn bằng cách đổ đầy nước vào một bình thuỷ tinh mỏng hình cầu (hay hình trụ), rồi chiếu một chùm ánh sáng trắng xuyên qua bình. Theodoricus và al-Farisi đều tìm thấy đúng những gì ta thấy trong Hình 77. Bằng thí nghiệm này, họ đã có thể tạo lại góc mở của cầu vồng chính hay cầu vồng *sơ cấp*, dãy màu của nó cũng như sự hiện hữu của cầu vồng *thứ cấp*, góc quan sát và dãy màu đảo ngược của nó.* Mọi cầu vồng đều được tìm thấy

Câu đố 124 s
Xem 82

* Bạn có thể đoán ra cầu vồng bậc 3 và bậc 4 được thấy ở đâu không? Có rất ít thông báo về việc trông thấy chúng; chỉ có 2 hay 3 hình trên toàn thế giới. Việc săn tìm cầu vồng bậc 5 vẫn tiếp diễn. (Trong phòng thí nghiệm, người ta đã thấy cầu vồng bậc 13.) Để có thêm thông tin, bạn hãy thăm website đẹp mắt www.



HÌNH 78 Ánh chớp lục trên Mặt trời hoàng hôn và trên Mặt trăng, cũng cho ta thấy sự thay đổi màu sắc của rìa Mặt trăng (© Andrew Young and Laurent Laveder/PixHeaven.net).

Trang 103 trong Hình 57. Thí nghiệm đẹp đẽ của Theodoricus đôi khi còn được xem là đóng góp quan trọng nhất của khoa học tự nhiên trong thời Trung cổ.

Ngoài ra hình dạng của cầu vồng cũng cho ta biết về hình dạng của giọt nước. Bạn Câu đố 125 s có thể tìm ra mối liên hệ này không?

Điều bất ngờ là giải thích về cầu vồng trong Hình 77 chưa đầy đủ. Ta đã giả sử rằng tia sáng chạm giọt nước ở một điểm đặc biệt trên mặt của nó. Nếu tia sáng chạm giọt nước ở một điểm khác – tham số đụng khác, cầu vồng sẽ xuất hiện ở một góc khác. Tuy vậy, mọi cầu vồng khác đều mờ đi, chỉ còn lại một cầu vồng vì góc lệch của nó là một cực trị. Đúng ra cầu vồng sơ cấp là một cạnh có màu của một đĩa trắng. Thật vậy, miền trên cầu vồng sơ cấp luôn luôn tối hơn miền dưới của nó.

Giọt nước không phải là lăng kính duy nhất trong thiên nhiên. Vào lúc hoàng hôn khí quyển cũng có tác dụng như một lăng kính, hay nói chính xác hơn, như một thấu kính trụ bị cầu sắc sai. Do đó, đặc biệt vào lúc hoàng hôn, Mặt trời bị tách làm 2 ảnh hơi lệch nhau, mỗi cái một màu; độ lệch tổng cộng khoảng 1 % đường kính. Kết quả là rìa Xem 84 của Mặt trời chiếu có màu. Nếu thời tiết thuận lợi, trời quang đãng đến chân trời và nếu biên dạng nhiệt độ của khí quyển thích hợp, một ảo ảnh phụ thuộc màu sắc sẽ xuất hiện: ta có thể thấy trong khoảng 1 giây sau ảnh màu đỏ, cam và vàng của Mặt trời hoàng hôn, Xem 83 đôi khi có một ảnh màu xanh lục. Đây là *ánh chớp lục* nổi tiếng do Jules Verne mô tả trong cuốn tiểu thuyết *Le Rayon-vert* của ông. Tia lục này thường được thấy ở bãi biển Xem 84, Xem 85 nhiệt đới, thí dụ như ở Hawaii và từ boong tàu ở vùng nước ấm.

Ngay cả không khí tinh khiết cũng phân tích được ánh sáng trắng. Tuy vậy, hiệu ứng này không phải do hiện tượng tán sắc mà do hiện tượng tán xạ. Sự tán xạ phụ thuộc bước sóng, chủ yếu là *tán xạ Rayleigh*, là nguyên do bầu trời cùng các rặng núi ở xa có màu xanh và Mặt trời có màu đỏ lúc hoàng hôn hay bình minh. (Bầu trời có màu đen ngay cả lúc ban ngày nếu nhìn từ Mặt trăng.) Bạn có thể lặp lại hiệu ứng này bằng cách nhìn xuyên qua nước vào mặt phía tối hay vào một bóng đèn. Thêm vài giọt sữa vào nước sẽ làm cho bóng đèn có màu vàng rồi đỏ và làm cho mặt phía tối có màu xanh (giống như bầu trời nhìn từ Trái đất và từ Mặt trăng) như ta thấy trong Hình 79. Việc thêm sữa sẽ

atoptics.co.uk. Có nhiều công thức về góc của các cầu vồng có bậc khác nhau; chúng được suy ra bằng hình học nhưng cũng được đề cập ở đây.



HÌNH 79 Sữa và nước mô phỏng trời chiều (© Antonio Martos).

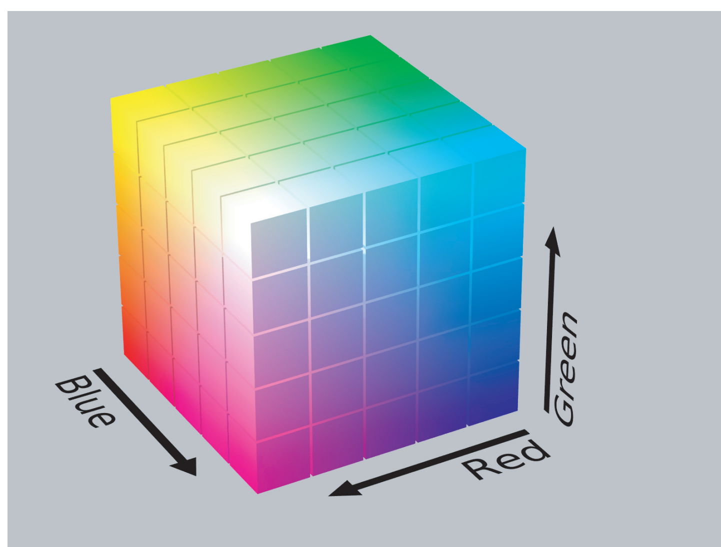
làm hiệu ứng rõ thêm. Mặt trời lặn đặc biệt có màu đỏ sau khi núi lửa phun trào cũng vì lý do tương tự như trên.

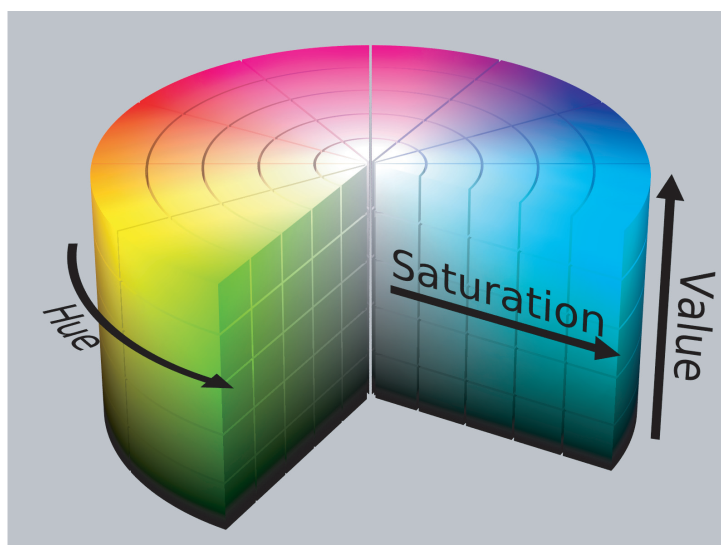
Tuy vậy, vào buổi chiều ít có người biết là bầu trời xanh vì lý do khác: vào lúc hoàng
Xem 86 hôn, bầu trời xanh chủ yếu là vì tầng ozone. Ozone là chất khí màu xanh. Không có ozone, bầu trời hoàng hôn sẽ hơi vàng.

Tóm lại, một cách tổng quát, ánh sáng là một sự hoà trộn các bước sóng. Kết quả là bước sóng hay tần số ánh sáng *không đủ* để mô tả màu sắc. Các chuyên gia về màu sắc gọi *sắc* là tính chất của màu, phù hợp nhiều nhất với sự thay đổi của bước sóng. Nhưng mỗi màu có 2 đặc trưng phụ. Thí dụ như màu đã cho có thể sáng hay tối; *độ sáng* là tính chất độc lập thứ 2 của màu. Tính chất độc lập thứ 3 là *độ bão hoà*; nó biểu diễn độ khác nhau giữa màu đó và màu trắng. Màu có độ bão hoà mạnh đối nghịch với màu nhợt nhạt, có độ bão hoà yếu.

Không gian màu của con người có 3 chiều. Con người có tính tam sắc. Hình 80 minh hoạ cho điều này. Mỗi màu ta thấy đều được mô tả bằng 3 tham số độc lập vì mắt người có 3 loại tế bào hình nón, tức 3 loại tế bào nhạy màu khác nhau. Đây là lý do một bộ lọc màu bất kỳ, thí dụ trên máy tính, đều có – ít nhất – 3 tham số có thể thay đổi. Một nghệ sĩ hiện đại, Tauba Auerbach, đã tạo ra một quyển sách mỹ thuật về không gian màu sắc
Xem 87 như ta thấy trong Hình 81. Số 3 cũng là lý do mọi màn hình đều có ít nhất 3 loại pixel khác nhau. Ba tham số này không nhất thiết là sắc, độ bão hoà và độ sáng. Chúng có thể là cường độ của 3 màu đỏ, lục và lam. Người ta có thể sử dụng các tính chất khác của màu để để mô tả chúng, như sắc thái, sắc độ, độ thuần khiết, luma, v.v... Người ta cũng sử dụng cách mô tả bằng 4 hay nhiều tham số hơn – như vậy tham số sẽ không độc lập với nhau – đặc biệt trong kỹ nghệ in ấn.

Nhiều loài chim, bò sát, cá và côn trùng khác nhau có không gian màu 4 chiều bao gồm tia tử ngoại; bướm và bồ câu có không gian màu 5 chiều và các loài chim khác có cả các không gian màu có số chiều lớn hơn. Có lẽ tôm tít có mắt phức tạp nhất trong vương quốc động vật với không gian màu lên tới 12 chiều. (Một loài tôm tít, *Gonodyctylus smithii*, cũng có thể phát hiện ánh sáng phân cực thẳng hay tròn với đầy đủ chi tiết). Khác với người và khỉ, nhiều động vật hữu nhũ chỉ có không gian màu 2 chiều. Những người

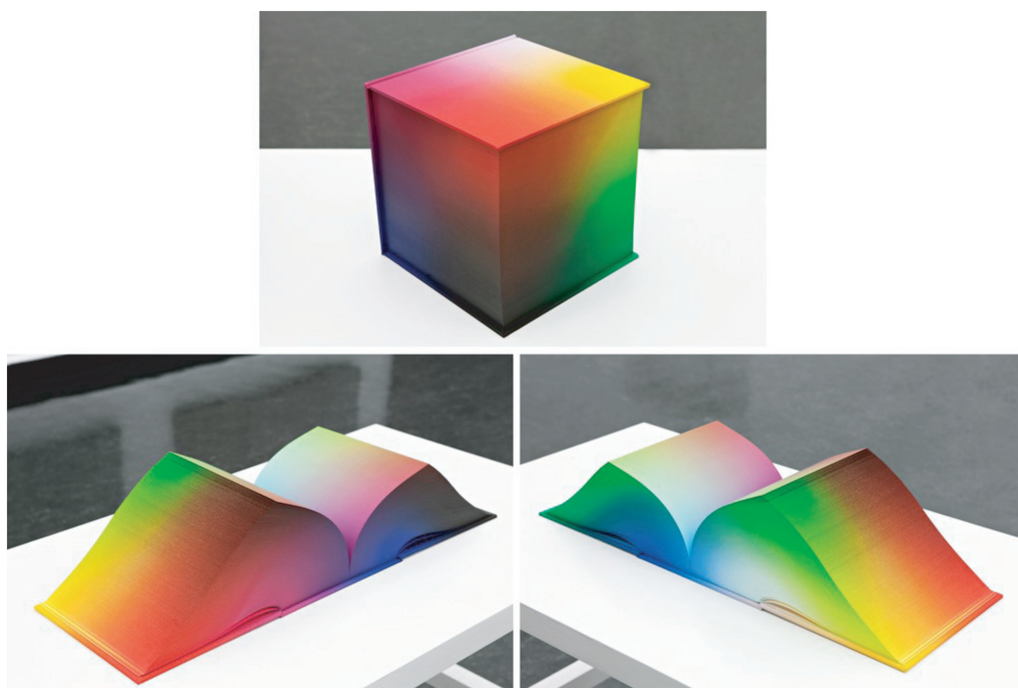




HÌNH 80 Hai trong nhiều cách minh hoạ tập hợp màu khả hữu của con người: (hình trên) là sự hoà trộn của màu đỏ,lục và lam tăng dọc theo 3 trục toạ độ và (hình dưới) sử dụng các toạ độ sắc, độ bão hoà và độ sáng (© SharkD).

sắc manh có không gian màu ít chiều hơn. Nói cách khác, số chiều của không gian màu nhận biết được không phải là một tính chất của ánh sáng hay của thiên nhiên mà là một đặc tính của mắt người. *Màu trong thiên nhiên và màu do con người cảm nhận được khác nhau.* Không có không gian màu trong thiên nhiên.

Màu sắc trong thiên nhiên và màu sắc trong nhận thức của con người còn khác nhau theo cách của các nhà ngôn ngữ học. Trong ngôn ngữ của loài người, màu sắc có một *trật tự* tự nhiên. Mọi người trên thế giới, dù ở biển cả, sa mạc hay núi non, đều sắp xếp màu theo thứ tự sau đây: 1. trắng đen, 2. đỏ, 3. lục và vàng, 4. xanh, 5. nâu, 6. màu hoa cà, hồng, cam, xám và đôi khi một thuật ngữ thứ 12 tuỳ thuộc vào ngôn ngữ. (Màu căn cứ theo vật, như cà tím hay đỏ nâu, hay màu không thể áp dụng chung, như màu vàng hoe, mà ta không bàn ở đây.) Khám phá chính xác là như sau: nếu một ngôn ngữ có một



HÌNH 81 Một quyển sách màu độc đáo minh hoạ, trên mỗi trang và trên tất cả các mặt ngoài của nó, không gian màu 3 chiều của con người (© Tauba Auerbach).

từ cho một màu trong số này thì nó cũng có một từ cho tất cả các màu đi trước đó. Kết quả này cũng hàm ý rằng người sử dụng lớp màu cơ bản này ngay cả khi ngôn ngữ của họ *không có* mỗi từ cho từng màu. Phát biểu này đã được khẳng định cho trên 100 ngôn
Xem 88 ngữ.

Giải trí với cầu vồng

Bề rộng của các cầu vồng sơ cấp thông thường là 2.25°, của cầu vồng thứ cấp là gấp đôi con số đó (đó là lý do tại sao nó ít sáng hơn). Bề rộng lớn hơn hiệu góc tán sắc được cho trong Hình 77 vì kích thước góc của Mặt trời, khoảng 0.5°, đã được cộng (phỏng chừng) vào hiệu góc này.

Kích thước hữu hạn của giọt mưa, qua hiện tượng giao thoa, dẫn tới sự xuất hiện cầu
Trang 103 vồng thặng dư như đã nêu trên. Nếu giọt mưa nhỏ và có cùng kích thước, số cầu vồng thặng dư tăng lên như ta đã thấy trong Hình 82 đầy ấn tượng.

Nếu giọt nước cực mịn, cầu vồng trở thành màu trắng; người ta gọi đó là *cầu vồng sương mù*. Người ngồi trên máy bay cũng thường thấy cầu vồng loại này. Nếu giọt nước không tròn, thí dụ như do gió mạnh, người ta có thể có cầu vồng *bất thường* hay *cầu*
Xem 60 *vồng sinh đôi*. Một thí dụ có trong Hình 83.

Ánh sáng của cầu vồng bị phân cực theo phương tiếp tuyến. Bạn có thể kiểm tra điều
Câu đố 126 e này bằng kính mát phân cực. Trong sự phản xạ bên trong giọt nước vì góc phản xạ gần bằng góc phản xạ toàn phần nên ánh sáng bị phân cực. (Tại sao điều này dẫn tới sự phân
Câu đố 127 ny cực?)



HÌNH 82 Các cầu vồng thặng dư bất thường (© Denis Betsch).

Nếu không khí chứa đầy các tinh thể nước đá thay vì giọt nước, tình trạng lại thay đổi. Ta có thể có thêm các ảnh phụ của Mặt trời theo hướng của nó. Chúng được gọi là các *Mặt trời giả*, đôi khi gọi là Nhật cầu. Hiện tượng này sẽ rõ ràng nhất khi không có gió, lúc các tinh thể có hướng như nhau. Trong trường hợp đó ta có thể chụp được một hình như Hình 84.

Ta có thể tìm hiểu về các cầu vồng hiếm thấy và các hiệu ứng kỳ lạ khác trên website cung cấp 'ảnh quang học trong ngày' tại www.atoptics.co.uk/opod.htm. Ở đó ta có thể tìm thấy cầu vồng bậc 3/bậc 4, cầu vồng sương mù cùng với cầu vồng thặng dư, cầu vồng sương mù do Mặt trăng, cầu vồng thứ cấp có cầu vồng thặng dư, cầu vồng bất thường, cầu vồng do Mặt trăng, cung ngoại thiên đỉnh, quầng Mặt trời, cột Mặt trời, ánh chớp lục và nhiều hơn nữa. Website trình bày các vẻ đẹp của ánh sáng trong thiên nhiên – và tất cả các hiệu ứng đều được giải thích tường tận.

Tốc độ ánh sáng là gì? Tốc độ tín hiệu là gì?

Vật lý bàn về chuyển động. Nói chuyện là sự trao đổi âm thanh và âm là một thí dụ về tín hiệu.

▷ Một *tín hiệu (vật lý)* là sự vận chuyển thông tin bằng cách sử dụng sự vận chuyển của năng lượng.

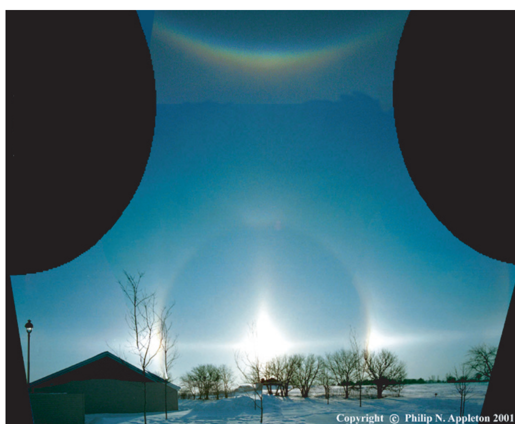


HÌNH 83 Năm loại cầu vồng hiếm có: cầu vồng sương mù (hình trên bên trái), cầu vồng sinh đôi hay bất thường, trong một ngày dông gió do các giọt mưa không có dạng hình cầu (hình trên bên phải, trình bày với độ bão hoà màu được tăng thêm), cầu vồng có 6 phần (hình giữa bên trái), cầu vồng đỏ lúc hoàng hôn (hình giữa bên phải), và cầu vồng do Mặt trăng, không phải do Mặt trời, được làm sáng thêm bằng kỹ thuật số (© Michel Tournay, Eva Seidenfaden, Terje Nordvik, Zhu XiaoJin and Laurent Laveder).

Quyển I, trang 306

Không có tín hiệu nào mà không có chuyển động của năng lượng. Thật vậy, không có cách nào lưu trữ thông tin mà không lưu trữ năng lượng. Như vậy ta có thể gán một tốc độ truyền cho một tín hiệu bất kỳ. Ta gọi nó là *tốc độ tín hiệu*. Tốc độ tín hiệu khả hữu cao nhất cũng là vận tốc ảnh hưởng lớn nhất hay nói một cách dễ dãi nó là vận tốc lan toả tác dụng cực đại.

Nếu tín hiệu được vật chất mang theo, như chữ viết trong một lá thư, vận tốc tín hiệu



HÌNH 84 Một ảnh chụp phức hợp cho ta thấy các Mặt trời giả, cột ánh sáng, quầng và cung sáng tiếp tuyến trên cao được tạo thành từ các tinh thể nước đá trong không khí nếu chúng có cùng hướng (© Phil Appleton).

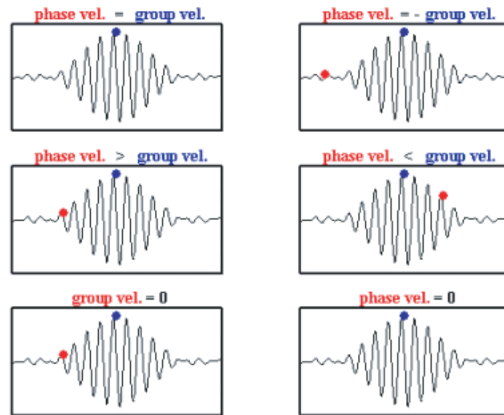


HÌNH 85 Một cung ngoại thiên đỉnh hiếm hoi được tạo thành từ các tinh thể nước đá lục giác trên thượng tầng khí quyển (© Paul Gitto).

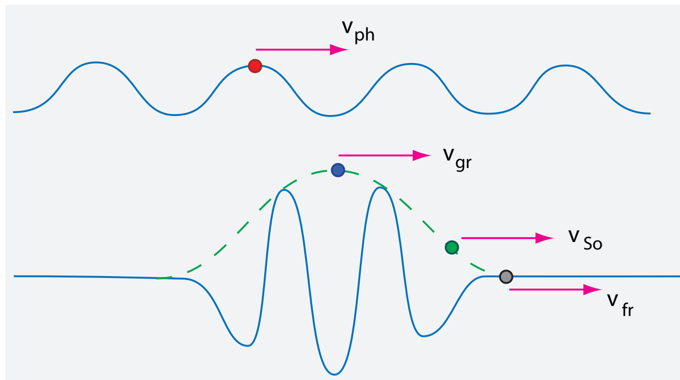
là vận tốc của vật mang. Thí nghiệm chứng tỏ rằng tốc độ này có giới hạn là tốc độ ánh sáng.

Đối với sóng mang như sóng nước, âm, ánh sáng hay sóng vô tuyến, điều này khó nhận ra hơn. Tốc độ của sóng là gì? Câu trả lời đầu tiên mà ta nghĩ tới là tốc độ di chuyển của đỉnh sóng hình sin. Vận tốc này được gọi là *vận tốc phase*, bằng tỷ số giữa tần số và bước sóng của một sóng đơn sắc, tức là bằng

$$v_{\mathrm{ph}} = \frac{\omega}{k} . \qquad (71)$$



HÌNH 86 Biểu diễn của vận tốc nhóm (xanh đậm) và vận tốc phase (đỏ sáng) đối với các loại sóng khác nhau (QuickTime film © ISVR, University of Southampton).



HÌNH 87 Định nghĩa của các vận tốc quan trọng trong hiện tượng sóng: vận tốc phase, vận tốc nhóm, vận tốc mặt đầu sóng của Sommerfeld và vận tốc tiên hành.

Vận tốc phase xác định hiện tượng giao thoa. Ánh sáng trong chân không có cùng vận tốc phase $v_{ph} = c$ với mọi tần số. Bạn có thể tưởng tượng ra một thí nghiệm để kiểm chứng thật chính xác điều này không? Câu đố 128 s

Mặt khác, có những trường hợp vận tốc phase *lớn hơn* c, nhất là khi ánh sáng chuyển động xuyên qua một môi trường hấp thu đồng thời tần số gần bằng tần số hấp thu cực đại. Tuy vậy trong trường hợp này thí nghiệm chứng tỏ rằng vận tốc phase *không phải là* vận tốc tín hiệu. Trong trường hợp đó, có một số gần đúng với tốc độ tín hiệu, đó là *vận tốc nhóm*, tức là vận tốc chuyển động của cực đại nhóm. Vận tốc này là Xem 89

$$v_{gr} = \left.\frac{d\omega}{dk}\right|_{k_0} , \tag{72}$$

trong đó k_0 là bước sóng trung tâm của gói sóng nơi tính đạo hàm. Ta thấy rằng $\omega = c(k)k = 2\pi v_{ph}/\lambda$ dẫn tới hệ thức

$$v_{gr} = \left.\frac{d\omega}{dk}\right|_{k_0} = v_{ph} - \lambda \frac{dv_{ph}}{d\lambda} . \tag{73}$$

Điều này có nghĩa là dấu của số hạng sau cùng xác định vận tốc nhóm lớn hơn hay nhỏ hơn vận tốc phase. Đối với một nhóm sóng chạy, được biểu diễn bằng đường đứt đoạn trong Hình 87, điều này có nghĩa là một cực đại mới xuất hiện ở cuối hay đầu một nhóm. Thí nghiệm chứng tỏ rằng đây chỉ là trường hợp ánh sáng *đi xuyên qua vật chất*; đối với ánh sáng *trong chân không*, vận tốc nhóm có cùng giá trị $v_{gr} = c$ với mọi độ lớn của vector sóng k.

Bạn cũng nên lưu ý rằng nhiều bài báo vẫn còn phổ biến ý tưởng sai lầm là vận tốc nhóm *trong vật chất* không bao giờ lớn hơn c, tốc độ ánh sáng trong chân không. Thật ra tốc độ nhóm trong vật chất có thể bằng 0, vô hạn hay ngay cả âm; điều này xảy ra khi xung ánh sáng rất hẹp, tức là khi nó bao gồm một khoảng tần số rộng hay khi tần số gần bằng tần số chuyển mức hấp thu. Trong nhiều (nhưng không phải là tất cả) trường hợp người ta thấy nhóm mở rộng một cách đáng kể hay ngay cả tách ra, làm cho ta khó xác định cực đại nhóm và vận tốc của nhóm. Nhiều thí nghiệm đã khẳng định điều này.
Xem 90 Đã có trường hợp vận tốc nhóm trong môi trường bằng *10 lần* vận tốc ánh sáng. Lúc đó chiết suất nhỏ hơn 1. Tuy vậy, trong tất cả các trường hợp này vận tốc *không* bằng tốc độ tín hiệu.*

Như vậy vận tốc nào mô tả sự lan truyền tín hiệu tốt nhất? Arnold Sommerfeld**. hầu như đã giải được bài toán chính trong đầu thế kỷ 20. Ông định nghĩa vận tốc tín hiệu là vận tốc v_{So} của *sườn dốc phía trước* của xung. Định nghĩa này được minh hoạ
Xem 89 trong Hình 87. Ta không thể tóm tắt định nghĩa này trong một công thức nhưng nó có đặc điểm là mô tả được sự truyền sóng trong hầu hết mọi thí nghiệm, đặc biệt trong trường hợp vận tốc nhóm và vận tốc phase lớn hơn tốc độ ánh sáng. Khi nghiên cứu tính chất của nó người ta nhận thấy rằng không có vật liệu nào mà vận tốc tín hiệu của Sommerfeld lớn hơn tốc độ ánh sáng trong chân không.

Đôi khi về mặt khái niệm thì mô tả sự lan truyền tín hiệu bằng vận tốc của năng lượng lại dễ dàng hơn. Như ta đã để cập ở trên, mọi tín hiệu đều mang theo năng lượng. *vận tốc của năng lượng* v_{en} được định nghĩa là tỷ số giữa mật độ dòng năng lượng $\boldsymbol{S}$, tức là vector Poynting và mật độ năng lượng W, cả hai đều tính theo hướng lan truyền. Đối với trường điện từ – trường duy nhất thích hợp với tín hiệu siêu quang – tỷ số này là

$$\boldsymbol{v}_{en} = \frac{\langle \boldsymbol{P} \rangle}{\langle W \rangle} . \qquad (74)$$

Tuy vậy, giống như trường hợp của vận tốc mặt đầu sóng, trong trường hợp vận tốc của năng lượng ta phải xác định phép tính trung bình ký hiệu bằng dấu ⟨⟩, tức là ta muốn nói tới năng lượng do xung chính hay mặt đầu sóng vận chuyển. Trong chân không, không có tốc độ nào lớn hơn tốc độ ánh sáng.*** (Nói chung, vận tốc của năng lượng trong vật
Xem 89 chất có giá trị hơi khác với vận tốc tín hiệu của Sommerfeld.)

* Trong cơ học lượng tử, Erwin Schrödinger đã chứng minh rằng vận tốc của 1 electron là vận tốc nhóm của hàm sóng của nó. Do đó lập luận tương tự tái xuất trong Thuyết lượng tử, như ta sẽ thấy trong Quyển
Quyển IV, trang 95 kế tiếp của bộ sách.

** Arnold Sommerfeld (b. 1868 Königsberg, d. 1951 Munich) là một nhân vật quan trọng trong việc phổ biến Thuyết tương đối, Thuyết lượng tử và các ứng dụng của chúng. Là một giáo sư ở Munich và là một giáo viên, người viết sách giáo khoa tuyệt vời, ông nghiên cứu về lý thuyết nguyên tử, kim loại, Điện động lực học và là người đầu tiên tìm hiểu về tầm quan trọng và bí ẩn chung quanh 'Hằng số cấu trúc tinh tế nổi tiếng của Sommerfeld'

*** Tín hiệu không chỉ mang theo năng lượng, chúng còn mang entropy âm ('thông tin'). Entropy của một

Trong những năm gần đây, với sự tiến bộ trong công nghệ máy phát hiện ánh sáng người ta có thể dò ra phần năng lượng nhỏ nhất, đã buộc các khoa học gia lấy vận tốc nhanh nhất trong tất cả các vận tốc của năng lượng này để mô tả vận tốc tín hiệu. Nhờ sử dụng máy phát hiện có độ nhạy cao nhất ta có thể dùng điểm đầu tiên của đoàn sóng có biên độ khác 0, tức là phần nhỏ nhất đầu tiên của năng lượng tới, làm tín hiệu. Vận tốc của điểm này, tương tự như khái niệm vận tốc tín hiệu của Sommerfeld, thường được gọi là *vận tốc mặt đầu sóng* hay để phân biệt rõ ràng với vận tốc của Sommerfeld, *vận*
Câu đố 129 s *tốc tiên hành*. Định nghĩa của nó là

$$v_{\mathrm{fr}} = \lim_{\omega\to\infty} \frac{\omega}{k} \ . \tag{75}$$

Vận tốc tiên hành *không bao giờ* lớn hơn tốc độ ánh sáng trong chân không hay trong vật chất. Đúng ra nó chính xác là c vì đối với các tần số cực cao tỷ số ω/k không phụ thuộc vật liệu và các tính chất của chân không thay vào vị trí đó.

▷ Vận tốc tiên hành là vận tốc tín hiệu thực sự hay là *vận tốc ánh sáng thực sự*.

Nhờ sử dụng tốc độ tiên hành, mọi lập luận về tốc độ ánh sáng trở nên rõ ràng và dễ hiểu.

Câu đố 130 s Để kết thúc phần này bạn có 2 câu đố. Vận tốc nào trong các vận tốc ánh sáng được đo trong các thí nghiệm xác định tốc độ ánh sáng, thí dụ như khi ánh sáng được gởi tới Mặt trăng rồi phản xạ lại? Và bây giờ là câu khó hơn: tại sao tốc độ tín hiệu ánh sáng
Câu đố 131 s trong vật chất nhỏ hơn trong chân không?

Tín hiệu và sự tiên đoán

Khi một người đọc một văn bản trên điện thoại cho một người hàng xóm nghe và có thể lặp lại nó, ta đang nói về sự truyền thông. Đối với một người thứ 3, tốc độ truyền thông luôn luôn nhỏ hơn tốc độ ánh sáng. Nhưng nếu người hàng xóm đã biết văn bản này, anh ta có thể thuật lại mà không cần phải nghe giọng người đọc. Đối với quan sát viên thứ 3 thì điều đó hoá ra là chuyển động nhanh hơn ánh sáng. Như vậy sự tiên đoán có thể *bắt chước* sự truyền thông và đặc biệt, nó có thể bắt chước sự truyền thông nhanh hơn ánh sáng (siêu quang). Điều này được chứng minh một cách ngoạn mục nhất vào
Xem 91 năm 1994 do Günter Nimtz, người hình như là đã vận chuyển âm nhạc – mọi âm nhạc có thể tiên đoán được trong các thang thời gian rất ngắn – qua một hệ 'nhanh hơn ánh sáng'. Để phân biệt 2 trường hợp, ta cần chú ý rằng trong trường hợp tiên đoán, không có sự vận chuyển năng lượng, khác với trường hợp truyền thông. Nói cách khác, việc định nghĩa tín hiệu là vật vận chuyển thông tin không có lợi và rõ ràng bằng việc định nghĩa tín hiệu là *vật vận chuyển năng lượng*. Trong thí nghiệm đề cập ở trên, không có năng lượng được vận chuyển nhanh hơn ánh sáng. Sự phân biệt tương tự giữa một bên là tiên đoán và một bên là sự truyền tín hiệu hay năng lượng sẽ được ta sử dụng sau này để minh giải các thí nghiệm nổi tiếng trong cơ học lượng tử.

---

máy phát tăng lên trong khi phát sóng. Entropy của máy thu thì giảm đi (nhưng dĩ nhiên là ít hơn độ tăng
Xem 92 của máy phát).

Ta cũng nên nhớ rằng vận tốc nhóm âm hàm ý năng lượng vận chuyển ngược với vận tốc truyền ánh
Xem 93 sáng. Điều này chỉ có thể xảy ra trong *vật liệu có tải năng lượng*.

BẢNG 15 Các tính chất thực nghiệm của chân không cổ điển phẳng, bỏ qua mọi hiệu ứng lượng tử và hiệu ứng tương đối tổng quát.

Tính chất vật lý	Trị thực nghiệm
Độ từ thẩm	μ_0 =1.3 µH/m
Độ điện thẩm	ε_0 =8.9 pF/m
Trở kháng của sóng	Z_0 = 376.7 Ω
Bất biến bảo giác	có thể áp dụng
Số chiều không gian	3
Topo	R^3
Ma sát lên vật chuyển động	không có
Thành phần	không có
Khối lượng và năng lượng	không có
Chuyển động	không có

> "Nếu tốc độ công bố các bài báo vật lý tiếp tục gia tăng, thì chẳng bao lâu các tạp chí vật lý sẽ ngập tràn các kệ của thư viện nhanh hơn tốc độ ánh sáng. Điều này không vi phạm Thuyết tương đối vì không có thông tin hữu ích được truyền đi."
>
> David Mermin

Lời tạm biệt của Aether

Tia Gamma, tia X, ánh sáng và và sóng vô tuyến là sóng điện từ đang chuyển động. Tất cả đều hiện hữu trong không gian trống rỗng. Khi ánh sáng di chuyển thì cái gì dao động? Chính Maxwell đã gọi 'môi trường' dao động là *aether*. Các tính chất của môi trường dao động đo được trong thí nghiệm được liệt kê trong Bảng 15. Trị số khác thường là do
Trang 353 định nghĩa của đơn vị henry và farad.
Xem 94 Mục cuối cùng của Bảng 15 quan trọng nhất: dù có nhiều nỗ lực, không ai có thể phát hiện được *chuyển động* của aether. Đặc biệt, không có chuyển động của aether đối với chân không. Nói cách khác, dù ta đã giả sử là aether dao động nó lại không chuyển động. Cùng với các dữ liệu khác, mọi kết quả này có thể được tóm tắt trong 1 câu: không có cách nào phân biệt aether với chân không.

Đôi khi ta nghe thấy có thí nghiệm hay ngay cả Thuyết tương đối chứng tỏ rằng không có aether. Mệnh đề này chứa nhiều sự thật; đúng ra thí nghiệm chứng tỏ được điều quan trọng hơn:

▷ *Không thể phân biệt* aether với chân không.

Mệnh đề này đúng trong mọi trường hợp. Thí dụ như trong Thuyết tương đối tổng quát, ta đã nhận thấy rằng chân không cong *có thể* chuyển động; nhưng ta vẫn không thể phân

biệt nó với aether.* Thuyết trường lượng tử khẳng định sự đồng nhất của aether và chân không.

Như vậy trong trường hợp sóng điện từ thì cái gì dao động? Bây giờ ta đã có câu trả lời đơn giản cho câu hỏi cổ xưa này: chân không. Chân không là môi trường mang sóng điện từ. Chân không phẳng, bất biến với phép biến đổi Lorentz mang sóng mặc dù nó không thể chuyển động và không cung cấp một hệ toạ độ ưu tiên. Chân không phẳng là một cái gì đó đặc biệt và ta chấp nhận nó để tránh các thuật ngữ 'vật mang' cùng với 'môi trường'. Tuy vậy, như ta đã thấy và sẽ thấy, trong Thuyết tương đối tổng quát và Thuyết trường lượng tử thì ta không né tránh được điều này. **

Tóm lại, các thí nghiệm trong phạm vi Thuyết tương đối đặc biệt đã *loại bỏ* aether: nó là một khái niệm vô ích; chân không vật lý có nhiều tính chất từng được gán cho aether. Xem 95 Từ nay trở đi, ta sẽ vứt bỏ khái niệm aether ra khỏi ngữ vựng của mình. Mặt khác, ta vẫn chưa hoàn tất việc nghiên cứu chân không; nó sẽ làm ta bận rộn trong giai đoạn còn lại, bắt đầu từ phần Vật lý lượng tử sau đây. Đúng ra Vật lý lượng tử chứng tỏ rằng mọi giá trị thực nghiệm trong Bảng 15 đều phải chỉnh sửa. Câu đố 132 d

Các câu đố vui và lạ về ánh sáng, sự phân cực và phase hình học

Vì ánh sáng là sóng nên phải có điều gì đó xảy ra khi hướng nó đến một lỗ tròn có đường kính nhỏ hơn bước sóng của nó. Điều đó chính xác là gì? Câu đố 133 s

* *

Vào một ngày nắng đẹp ở vĩ tuyến vừa phải trên Trái đất, ánh mặt trời có mật độ công suất khoảng 1 kW/m^2. Mật độ năng lượng tương đương, điện trường và từ trường trung bình là bao nhiêu? Câu đố 134 s

* *

Ánh sáng thuần tuý trong quang phổ thường được gọi là 'ánh sáng đơn sắc'. Tại sao đây lại là một cách gọi sai? Câu đố 135 s

* *

Điện động lực học chứng tỏ rằng chùm ánh sáng luôn luôn đẩy; chúng không bao giờ kéo. Bạn có thể khẳng định rằng không thể có 'chùm máy kéo' trong thiên nhiên không? Câu đố 136 e

* *

Ta đã biết rõ rằng vật liệu phát sáng trong đèn tròn là dây tungsten đặt trong khí trơ. Đây là kết quả của một chuỗi thí nghiệm khởi đầu với thế hệ bà của mọi loại đèn, cụ thể là đèn dưa leo. Những người của thế hệ trước đều biết rằng một trái dưa leo ngâm

Xem 95 * Về mặt lịch sử, thuật ngữ 'aether' đã được sử dụng để biểu đạt nhiều ý tưởng khác, tuỳ theo tác giả. Trước tiên, nó được sử dụng cho ý tưởng chân không không rỗng mà *đầy*; kế đến, sự lấp đầy này có thể được mô tả bằng *các mô hình cơ học*, như các bánh xe, các hình cầu nhỏ, cuộn xoáy, v.v..; thứ 3, người ta tưởng tượng rằng aether là *một chất*, giống như vật chất. Mọi ý tưởng này đều bị Thuyết tương đối loại bỏ. Tuy vậy, ta sẽ gặp lại vấn đề này trong phần cuối của cuộc hành trình lên đỉnh, khi ta tìm hiểu về chân không.

** Năm 2013, Hội vật lý Đức đã công bố một ý kiến chính thức của chuyên gia là "sóng điện từ không cần chân không làm vật mang." Hội cũng muốn mọi giáo viên vật lý nói cho học sinh biết phát biểu sai lầm này. Vật lý gia trên thế giới vẫn còn cười đùa về việc này.

giấm, khi gắn vào nguồn điện 230 V sẽ phát ra ánh sáng màu lục nhạt. (Hãy cẩn thận; thí nghiệm này không được sạch sẽ và khá nguy hiểm.)

* *

Chùm ánh sáng có một nhiệt độ và entropy hiệu dụng. Mặc dù ngày nay ít được bàn tới, Nhiệt động lực học của ánh sáng cũng đã được Max von Laue (b. 1879 Koblenz, d. 1960 Berlin) tìm hiểu kỹ trong những năm từ 1900 tới 1906. Von Laue đã chứng tỏ
Xem 96
rằng sự lan truyền ánh sáng thông thường trong không gian trống rỗng là một quá trình thuận nghịch và entropy của một chùm sáng thực sự không đổi trong trường hợp này. Khi ánh sáng nhiễu xạ, tán xạ hay phản xạ khuếch tán, nhiệt độ hiệu dụng giảm đi và entropy tăng lên. Trường hợp thú vị nhất là giao thoa, entropy thường tăng lên nhưng có lúc lại giảm.

* *

Ta đã biết rằng ánh sáng có năng lượng, động lượng, moment động lượng, entropy, nhiệt độ, áp suất, thế hoá học và như ta sẽ thấy trong quyển kế tiếp, được tạo thành từ các quanton. Như vậy phát biểu:

▷ Ánh sáng là một chất.

Câu đố 137 s
là một điều có ý nghĩa. Hãy hưởng niềm vui khám phá kết luận này.

* *

Ba trở trong chân không là 376.7 Ω có một hệ quả thực tiễn. Nếu một sóng điện từ đập vuông góc vào một bản mỏng rộng thì giá trị của trở kháng của bản mỏng sẽ xác định điều sẽ xảy ra. Nếu trở kháng *lớn hơn* 376.7 Ω/một đơn vị diện tích, bản mỏng chủ yếu là trong suốt và sóng sẽ *truyền qua*. Nếu trở kháng nhỏ hơn 376.7 Ω/một đơn vị diện tích, bản mỏng bị ngắn mạch đối với sóng và sóng sẽ bị *phản xạ*. Sau cùng nếu trở kháng *gần bằng* 376.7 Ω/một đơn vị diện tích, bản mỏng có trở kháng phù hợp và sóng sẽ *bị hấp thu*.

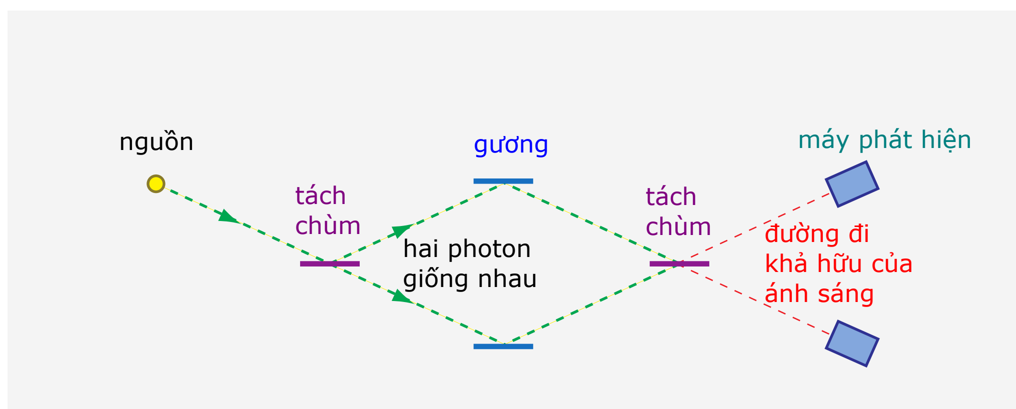
* *

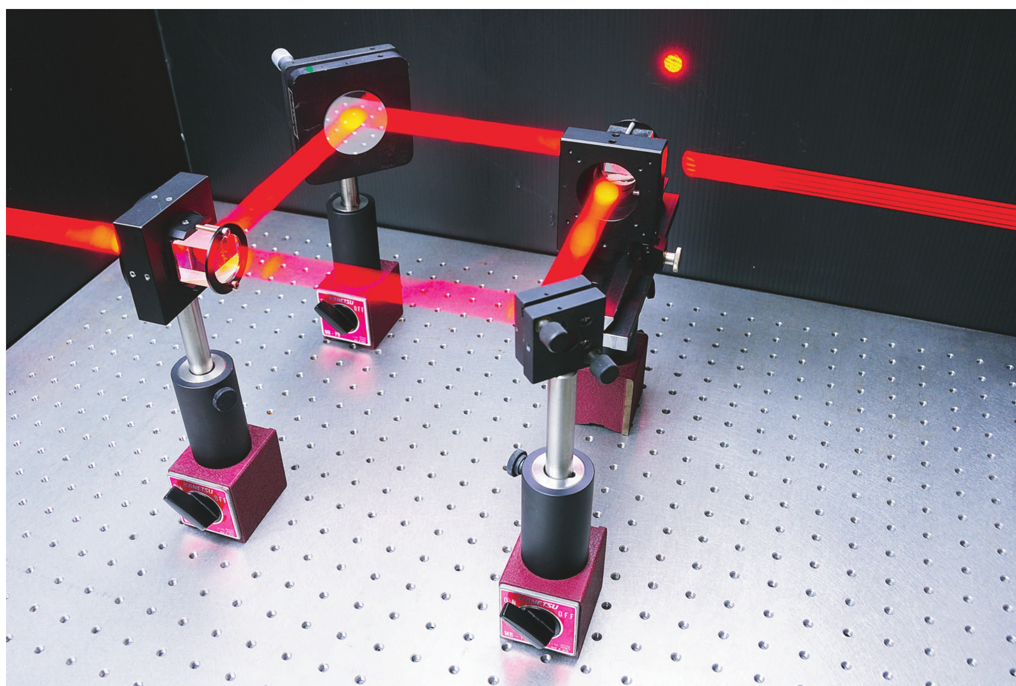
Nếu ánh sáng phát ra từ đèn trước của xe bị phân cực từ cạnh dưới bên trái tới cạnh trên bên phải (như tài xế nhìn thấy) người ta có thể cải thiện chất lượng lái xe ban đêm: người ta có thể thêm một kính phân cực vào kính chắn gió có cùng hướng phân cực. Kết quả là tài xế sẽ nhìn thấy ánh sáng phản xạ từ đèn xe mình còn ánh đèn xe ngược chiều
Câu đố 138 s
sẽ giảm đi đáng kể. Tại sao người ta không làm điều này trong các xe hiện đại?

* *

Ánh sáng có thể có một khối lượng nhỏ và chuyển động với một tốc độ chỉ nhỏ hơn tốc độ khả hữu cực đại của ánh sáng trong thiên nhiên hay không? Câu hỏi này đã được
Xem 97
nghiên cứu rộng rãi. Nếu ánh sáng có khối lượng, ta sẽ phải chỉnh sửa lại các phương trình Maxwell, tốc độ của ánh sáng sẽ phụ thuộc tần số, nguồn sáng, tốc độ máy phát hiện và sẽ có sóng điện từ dọc. Dù có nhiều vinh quang hứa hẹn nhưng người ta chưa tìm thấy hiệu ứng nào như vậy.

* *

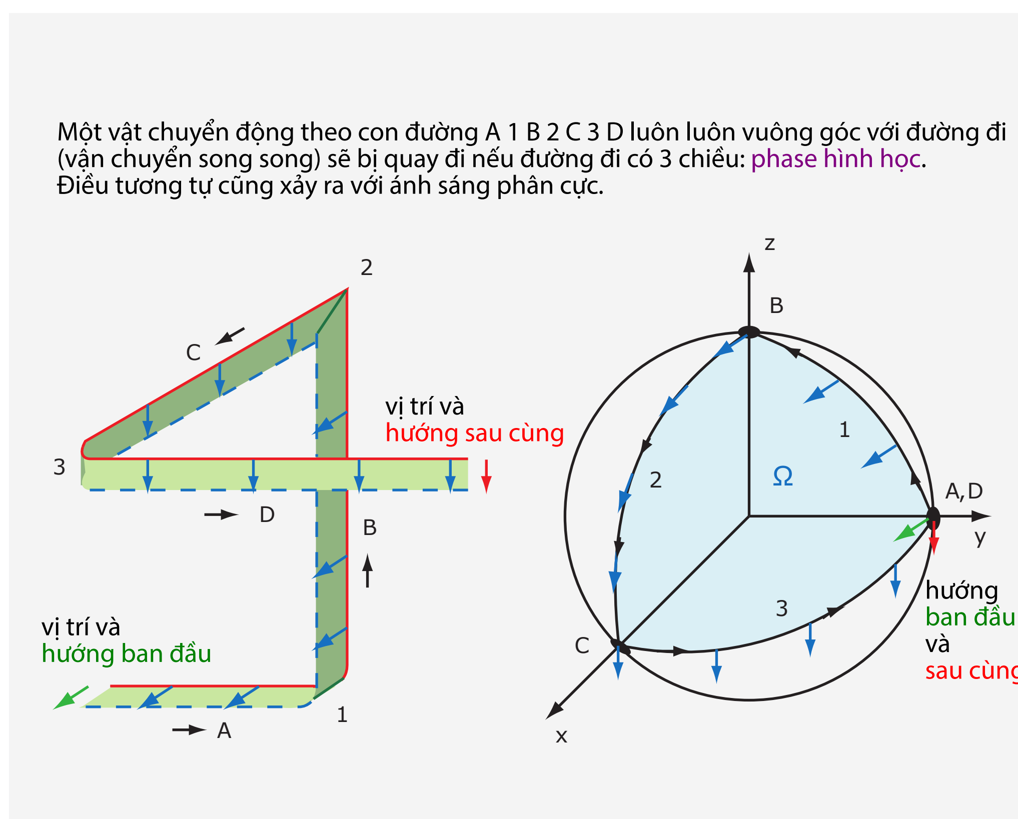




HÌNH 88 Một giao thoa kế 2 chiều (Mach–Zehnder) thông thường, với các cạnh bằng nhau và các ngõ ra A và B. Ánh sáng ra theo hướng A, hướng của giao thoa tăng (photo © Félix Dieu and Gaël Osowiecki).

Một chùm ánh sáng có thể bị phân cực. Hướng phân cực có thể bị thay đổi bằng cách truyền ánh sáng đi qua những vật liệu lưỡng chiết như tinh thể lỏng, calcite hay polymer bị nén. Nhưng ta cũng có thể dùng gương để thay đổi hướng phân cực. Để làm được điều đó thì quỹ đạo của ánh sáng phải nằm trong không gian 3 chiều chứ không thể nằm trong mặt phẳng.

Để tìm hiểu hiện tượng phân cực quay bằng gương thì công cụ tốt nhất là *phase hình học*. Phase hình học là góc xuất hiện trong đường đi 3 chiều của một sóng phân cực. Phase hình học là một hiện tượng tổng quát xảy ra trong sóng ánh sáng đối với các hàm sóng lẫn các dao động cơ ngang. Để hình dung ra phase hình học, ta hãy nhìn vào



HÌNH 89 Hình bên trái: một đường đi 3 chiều có vẽ các vết mũi tên biểu diễn hướng phân cực của ánh sáng. Các chỗ uốn 1, 2 và 3 có thể dùng gương để tạo ra. Hình bên phải: góc quay của hướng phân cực là góc khối Ω, phase hình học, được quỹ đạo bao quanh.

Hình 89.

Hình bên trái của Hình 89 có thể được xem như một băng giấy hay một thắt lưng da gấp lại trong không gian, một mặt có màu sáng một mặt có màu tối. Dĩ nhiên hướng Xem 98 của băng giấy lúc sau sẽ khác lúc đầu. Bạn hãy tưởng tượng đang dò theo băng giấy bằng lòng bàn tay đặt trên nó. Cuối con đường cánh tay của bạn sẽ bị vặn đi. Góc xoắn này là *phase hình học* do quỹ đạo tạo ra.

Thay vì tay lần theo băng giấy ta hãy tưởng tượng chùm ánh sáng phân cực đi theo quỹ đạo xác định bằng tâm của băng giấy. Tại khúc quanh gương làm thay đổi chuyển động của ánh sáng nhưng khi tiến lên từng chút sự phân cực vẫn giữ hướng song song như trước đó. Ta đang nói về *sự vận chuyển song song*. Kết quả đối với ánh sáng không khác kết quả đối với băng giấy: ở cuối con đường, hướng phân cực của chùm ánh sáng đã quay đi. Tóm lại, *sự vận chuyển song song trong không gian 3 chiều đã tạo ra phase hình học*. Đặc biệt, ta chỉ có thể quay hướng phân cực của chùm ánh sáng bằng gương.

Dao động cơ ngang cũng hoạt động theo cách này. Khi một con lắc Foucault dao Quyển I, trang 141 động, quỹ đạo của nó – một cung tròn do chuyển động quay của Trái đất – là quỹ đạo 3 chiều. Hướng dao động – tương tự như hướng phân cực của ánh sáng hay hướng của băng giấy – thay đổi theo quỹ đạo.

Vì hàm sóng trong Cơ học lượng tử cũng được mô tả bằng phase ngang, chúng cũng thể hiện các hiệu ứng tương tự khi đi theo các quỹ đạo 3 chiều. Hiệu ứng Aharonov-Bohm là một thí dụ về việc quỹ đạo 3 chiều làm thay đổi phase.

Quyển IV, trang 98
Câu đố 139 ny

Hình vẽ bên phải trong Hình 89 minh hoạ cho *hình cầu hướng*, cho ta thấy cách tính góc quay do quỹ đạo. *Phase hình học hoá ra là góc khối mà quỹ đạo bao quanh.* Tóm lại, phase hình học là góc khối khép kín. Với kết quả này, phase hình học không còn gì là bí ẩn. (Đối với những quỹ đạo không đóng trên hình cầu hướng, ta vẫn có thể tiến hành tính toán bằng cách khép kín quỹ đạo trên mặt cầu một cách phù hợp.) Có một trường hợp đẹp mắt là thí nghiệm ánh sáng phân cực truyền vào cáp quang xoắn ốc. Trong trường hợp này, phase hình học được ấn định theo chiều dài của cáp và chiều dài bước xoắn ốc. Người ta cũng đã quan sát được tác dụng của phase hình học trong phân tử, hạt nhân, chùm neutron, trong các loại giao thoa kế, máy gia tốc hạt, con quay hồi chuyển, trong Thuyết tương đối tổng quát và nhiều trường hợp khác.

Xem 99

Về mặt lịch sử, phase hình học đã được nhiều người trong các lĩnh vực vật lý khác nhau khám phá một cách độc lập. Nhà nghiên cứu đã tìm hiểu tầm quan trọng tổng quát của nó trong Vật lý lượng tử là Michael Berry vào năm 1983, nhưng trước kia người ta đã biết đến phase trong Vật lý lượng tử, Quang học và cơ học, trong các công trình về Vật lý hạt nhân của Christopher Longuet-Higgins vào thập niên 1950, trong các công trình về ánh sáng của thiên tài trẻ Shivaramakrishnan Pancharatnam cũng vào thập niên 1950, trong các công trình về phân tử của Alden Mead thập niên 1970 và dĩ nhiên là trong các công trình về con lắc Foucault từ năm 1851. Nhưng cũng có những sai lầm trong kim chỉ nam, như ta đã nói trước kia, là do phase hình học. Theo Michael Berry, hiện tượng này bây giờ được gọi là *phase hình học*. Những cách gọi cũ hơn như phase đoạn nhiệt, phase topo, phase lượng tử, phase Berry và các thuật ngữ khác không còn được sử dụng nữa.

Quyển I, trang 244
Quyển I, trang 210

Sau cuộc du ngoạn này là một câu đố về thế giới thực. Số lượng gương ít nhất mà ta cần có trong một thiết bị thay đổi hướng phân cực của chùm ánh sáng, sao cho khi đi ra khỏi thiết bị nó có cùng phương với lúc đi vào?

Câu đố 140 s

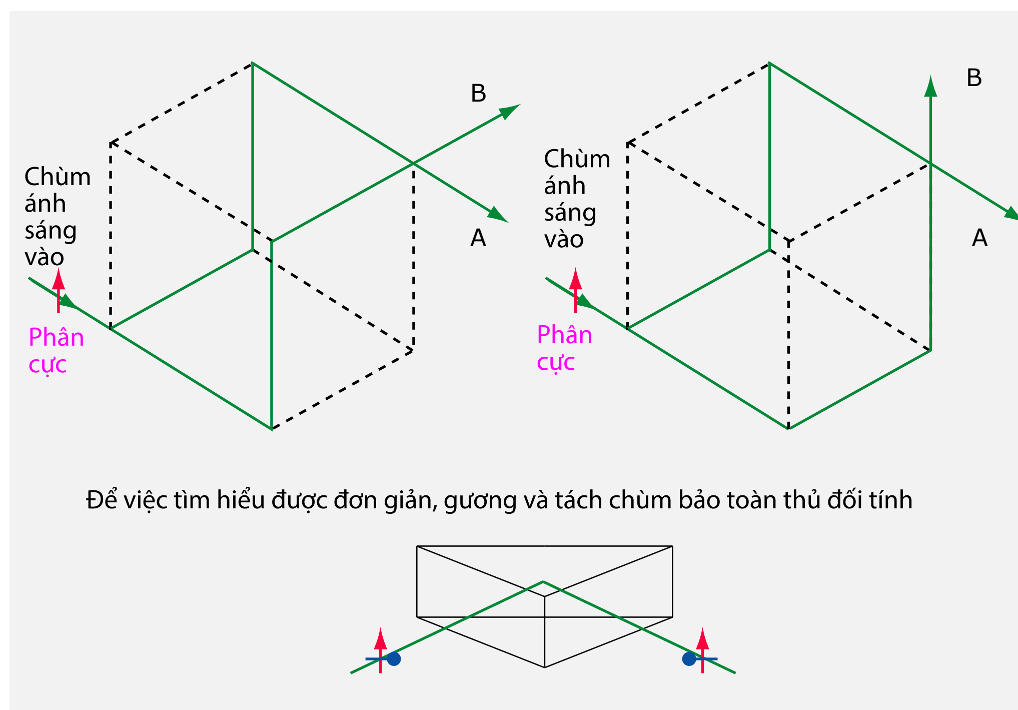
* *

Trong nhiều quang hệ – bao gồm hệ thống laser và máy ảnh – sự phân cực của ánh sáng được điều khiển bằng các *bản sóng*. Chúng được làm bằng các vật liệu lưỡng chiết. Một bản *1/2 sóng* có thể quay hướng phân cực của chùm phân cực thẳng. Nếu quay bản đi một góc α, hướng phân cực của chùm ánh sáng quay đi một góc 2α. Một bản *1/4 sóng* biến đổi phân cực thẳng thành phân cực tròn – và ngược lại.

* *

Người Viking không có la bàn và đồng hồ. Từ thời xa xưa cách nay rất lâu họ đã có thể lái thuyền băng qua Đại tây dương một cách chính xác. Hình như họ đã sử dụng ‘đá Mặt trời’ làm thiết bị đạo hàng, có thể là những tinh thể lưỡng chiết, như calcite, cordierite hay tourmaline. Có thể người Viking đã có một tinh thể có thể định hướng gắn trên thuyền. Nhờ tinh thể này, nhà du hành có thể xác định vị trí của Mặt trời và lái tàu của mình. Người ta vẫn còn tranh luận về phương pháp chính xác đã được sử dụng; có thể nó tương tự như phương pháp của ong hay nhện, cho phép ta xác định vị trí của Mặt trời dù thời tiết đầy mây hay lúc chạng vạng. Điều này cho phép ta đi theo một vĩ tuyến nhất định một cách chính xác dù cuộc hành trình có thể kéo dài trong 3 tuần lễ. Độ không

Trang 114
Xem 100



HÌNH 90 Hai giao thoa kế 3 chiều khác nhau, với các cạnh có cùng chiều dài, có sử dụng gương/bộ tách chùm sáng, và các ngõ ra là A và B. Ánh sáng sẽ ra ở ngõ nào?

chính xác đã được mô phỏng bằng số nhưng phương pháp này chưa được thử nghiệm trong các con tàu thực.

* *

Giao thoa kế là một thiết bị sử dụng hiện tượng giao thoa để nghiên cứu tính chất của chùm ánh sáng. Một giao thoa kế thông thường, Mach–Zehnder, được trình bày trong Hình 88. Nếu các cạnh có chiều dài bằng nhau, ánh sáng giao thoa tăng theo hướng ra A và giao thoa giảm theo hướng ra B. Như vậy ánh sáng ra theo hướng A.

Xem 101 Chỉ trong thập niên 1990 người ta mới bắt đầu thắc mắc là điều gì sẽ xảy ra trong các giao thoa kế *3 chiều*, như ta thấy trong Hình 90. Để hiểu rõ vấn đề ta cần nói thêm vài điều. Đầu tiên, ta cần xác định tính phân cực của ánh sáng được sử dụng và cũng nên nhớ rằng chỉ có ánh sáng có cùng tính phân cực mới giao thoa với nhau được. Thứ 2, để cho đơn giản, ta giả sử rằng gương là loại đặc biệt (cụ thể là các hình hộp đặt ở góc có tính khúc xạ toàn phần), như vậy khác với gương thông thường, chúng *bảo toàn* tính phân cực. Thứ 3, các cạnh dài bằng nhau. Bạn có thể tìm ra lối ra nào sáng trong 2 trường hợp của Hình 90 hay không? Câu đố 141 s

* *

Có thể tạo ra một thiết bị bằng thuỷ tinh, thể hiện sự tương tự quang học của thí nghiệm Stern-Gerlach. Thiết bị được gọi là *tam lăng kính Fresnel*, phân tách một chùm ánh sáng thành hai thành phần phân cực trái và phải. Để làm được điều này, 3 lăng kính lưỡng

chiết có thủ đối tính khác nhau được dán với nhau thành một bộ có dạng hình học thích hợp.

Xem 103

* *

Trong vùng giao thoa giảm người ta tìm thấy *các điểm kỳ dị phase*. Nếu ánh sáng giao thoa màu trắng và nếu cường độ được khuếch đại, những vùng đó không đen mà có các hoa văn đẹp mắt. Những hoa văn này đã được tiên đoán trong thập niên 1970, được tìm thấy bằng thực nghiệm trong các thập niên sau đó. Chúng là các hoa văn xanh-cam phổ biến.

Xem 102

* *

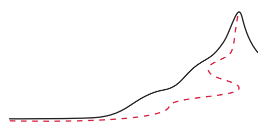
Các phương trình Maxwell của điện từ trường đã 150 tuổi. Có phải ta đã biết hết về chúng không? Có lẽ chưa. Thí dụ như chỉ trong thập niên 1990 Antonio Rañada đã khám phá các phương trình có lời giải với các trường tuyến *thắt gút*. Lời giải ngoạn mục nhất cho đến nay đã được Arrayás và Trueba công bố. Chắc vẫn còn nhiều kết quả đáng ngạc nhiên hơn đang chờ được khám phá.

Xem 104

Tóm tắt về ánh sáng

Sóng vô tuyến, ánh sáng hồng ngoại, ánh sáng khả kiến, ánh sáng tử ngoại, tia X và tia gamma đều là sóng điện từ. Hệ thức tán sắc của chúng trong chân không là $\omega = ck$, trong đó vận tốc phase $c = 299\,792\,458$ m/s là một hằng số phổ quát, một bất biến. Sóng điện từ mang theo năng lượng, động lượng và moment động lượng. Trong chân không, vận tốc phase cũng là vận tốc nhóm và vận tốc tín hiệu. Ngoài ra, tốc độ sóng điện từ c là tốc độ năng lượng giới hạn (địa phương) trong thiên nhiên: Sóng điện từ (trong chân không) chuyển động nhanh hơn mọi vật thể.





Chương 4

Hình ảnh và mắt – Quang học

Quang học là lĩnh vực nghiên cứu sự tạo ra hình ảnh. Đặc biệt, Quang học nghiên cứu và sử dụng sự *phát sinh*, *vận chuyển* và *phát hiện* ánh sáng và hình ảnh. Qua định nghĩa này ta nhận ngay ra rằng Điện động lực học cổ điển chỉ có thể mô tả phần vận chuyển ánh sáng. Hai phần còn lại thuộc về các hiệu ứng lượng tử. Mỗi bóng đèn là một thiết bị dựa trên Vật lý lượng tử. Mỗi máy phát hiện ánh sáng kể cả mắt, đều dựa trên Vật lý lượng tử. Do đó trong chương này ta chủ yếu tìm hiểu về chuyển động của ánh sáng, phương thức tạo ra hình ảnh và chỉ giới thiệu qua về nguồn sáng và mắt. Xem 105 Sự phát sinh ánh sáng sẽ được tìm hiểu chi tiết trong Quyển nói về Vật lý lượng tử.

Các phương thức để ghi nhận hình ảnh

Thu giữ hình ảnh là một phần quan trọng của xã hội hiện đại. Chất lượng hình ảnh phụ thuộc vào việc vận dụng một cách thông minh Quang học, Điện tử học, Khoa học tính toán và Khoa học vật liệu. Dù lịch sử Quang học đã dài nhưng vẫn còn những khám phá mới trong lĩnh vực này. Hình ảnh tức là sự tái tạo 2 hay 3 chiều của một trạng thái vật lý, ít nhất có thể chia thành 6 nhóm kỹ thuật:

— *Phép chụp ảnh* sử dụng 1 nguồn sáng, thấu kính và film – hay một máy phát hiện có diện tích rộng trong một máy ảnh. Phép chụp ảnh có thể sử dụng nguồn sáng phản xạ hay truyền xạ, có phụ thuộc phase, với độ rọi khác nhau và các máy phát hiện ánh sáng có bước sóng khác nhau.

— *Kỹ thuật hiển vi quang học* sử dụng một nguồn sáng, hệ kính phóng đại và film (hay một máy phát hiện có diện tích rộng khác). Nếu ánh sáng chiếu xuyên qua mẫu vật ta đang nói về *kỹ thuật hiển vi trường sáng*. (Có các dạng khác sử dụng kính lọc màu hay kính phân cực.) Nếu chiếu sáng một bên, ta đang nói về *hiển vi xiên*. Nếu sự chiếu sáng giới hạn trong một vùng tròn bên ngoài, ta đang nói về *kỹ thuật hiển vi trường tối*. Một hệ thống chiếu sáng phức tạp hơn, sử dụng sóng phẳng, gặp trong *kỹ thuật hiển vi tương phản phase*. Xem 106 (Do Frits Zernike phát minh trong thập kỷ 1930 và đem về cho ông giải Nobel vật lý 1953.) Nếu ta tách chùm ánh sáng chiếu phân cực thành 2 phần đi qua mẫu vật tại các điểm gần (nhưng không trùng nhau) rồi sau đó kết hợp lại thì ta đang nói về *kỹ thuật hiển vi tương phản giao thoa vi phân*. Nếu một mẫu vật được nhuộm chất huỳnh quang, ánh sáng chiếu sẽ bị lọc mất, chỉ còn ánh sáng huỳnh quang, ta đang nói về *kỹ thuật hiển vi huỳnh quang*. Chất lượng hình ảnh của các kính hiển vi đắt tiền có thể được cải thiện nhờ máy tính sử dụng kỹ thuật giải chập.

— *Kỹ thuật viễn vọng* được sử dụng nhiều nhất trong Trắc địa học và Thiên văn học.



HÌNH 91 Một ảnh chụp bằng tia X của một bé trai 10 tuổi bị tật thừa ngón tay (© Drgnu23).

Trang 164

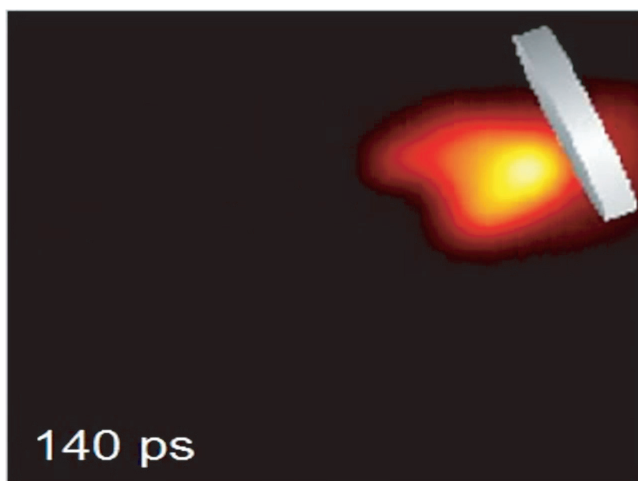
Từ nhiều năm nay, kính viễn vọng mạnh đến mức, với độ phóng đại lớn, người ta có thể quan sát được ngôi sao suốt ngày. Kính thiên văn hiện đại nhất có thể bổ chính các hình ảnh bị ảnh hưởng bởi các cuộn xoáy của khí quyển; chúng cũng có thể thu được các hình ảnh ở các bước sóng khác nhau, từ tần số vô tuyến, hồng ngoại, khả kiến, tử ngoại tới tia X. Kính thiên văn đơn giản sử dụng thấu kính; kính thiên văn chất lượng cao thường sử dụng gương. Cũng có kính thiên văn dành cho các bước sóng không nhìn thấy. Kính thiên văn hồng ngoại có thể đặt trên mặt đất, khí cầu, phi cơ hay vệ tinh. Kính thiên văn tử ngoại và tia X phải được vận hành bên ngoài khí quyển để tránh sự hấp thu của không khí, thí dụ như đặt trên hoả tiễn, vệ tinh hay khí cầu trên cao. Tất cả đều sử dụng gương.

— *Kỹ thuật quét* ghi lại từng điểm của ảnh thông qua chuyển động của máy phát hiện, nguồn sáng hay cả hai. Có nhiều kỹ thuật hiển vi quét hình: *kỹ thuật hiển vi đồng tiêu quét bằng laser*, *kỹ thuật hiển vi quang học quét cận trường* sử dụng sợi quang và các tổ hợp của chúng với kỹ thuật huỳnh quang hay các kỹ thuật giải chập khác. Nhiều kỹ thuật cho độ phân giải nhỏ hơn bước sóng ánh sáng, một kỳ công mà ta không thể nào làm được với kỹ thuật cũ. Kỹ thuật quét cũng được sử dụng trong các lĩnh vực chụp ảnh đặc biệt.

— *Phép chụp cắt lớp*, thường thực hiện theo kiểu truyền qua, sử dụng một nguồn và một máy phát hiện quay quanh vật thể. Kỹ thuật này, kỹ thuật quét chuyên môn hoá, cho phép ta chụp được ảnh thiết diện ngang của cơ thể một cách hiệu quả. Thí dụ như phép chụp ảnh quang cắt lớp để phát hiện ung thư vú đầy hứa hẹn, không ảnh hưởng đến sức khoẻ.

— *Phép toàn ký* sử dụng laser và các máy phát hiện diện tích rộng cho phép ghi ảnh 3 chiều của các vật thể. Những ảnh như vậy trông như lơ lửng trong không gian. Phép toàn ký có thể sử dụng dưới dạng phản xạ hay truyền qua.

Mỗi phương pháp thu nhận hình ảnh đều có thể sử dụng sóng vô tuyến, ánh sáng hồng ngoại, ánh sáng khả kiến, ánh sáng tử ngoại, tia X hay tia gamma. Đúng ra những kỹ thuật này còn có thể sử dụng với các chùm electron; như vậy ta đang nói về quang học electron. Trong mọi phương pháp ghi hình, có 2 cuộc chạy đua: một hướng tới hình ảnh



HÌNH 92 Một đoạn film do một máy quay siêu tốc ghi được cho thấy xung ánh sáng nảy ra từ một tấm gương (QuickTime film © Wang Lihong and Washington University at St. Louis).

có độ phân giải thật cao và một hướng tới màn trập có tốc độ thật nhanh. Màn trập càng nhanh thì film càng ghi được nhiều thông tin. Một thí dụ đầy ấn tượng là film của một xung ánh sáng chuyển động được trình bày trong Hình 92. Chúng ta bắt đầu khái quát về các kỹ thuật ghi hình bằng một công cụ quan trọng nhất: nguồn sáng.

Nguồn sáng

Không có nguồn bức xạ sẽ không có hình ảnh. Mọi kỹ thuật ghi hình đều cần các nguồn bức xạ. Trong lĩnh vực quang học của ánh sáng khả kiến, nguồn sáng phổ biến nhất của ánh sáng khả kiến và hồng ngoại là các vật *nóng* như nến, Mặt trời hay đèn chớp. Nói theo ngôn ngữ vật lý, những nguồn sáng này gần giống như các thể đen. Chúng ta hãy xem lý do tại sao người ta sử dụng chúng. Nguồn sáng *lạnh* như LED, đom đóm hay laser sẽ được tìm hiểu sau.

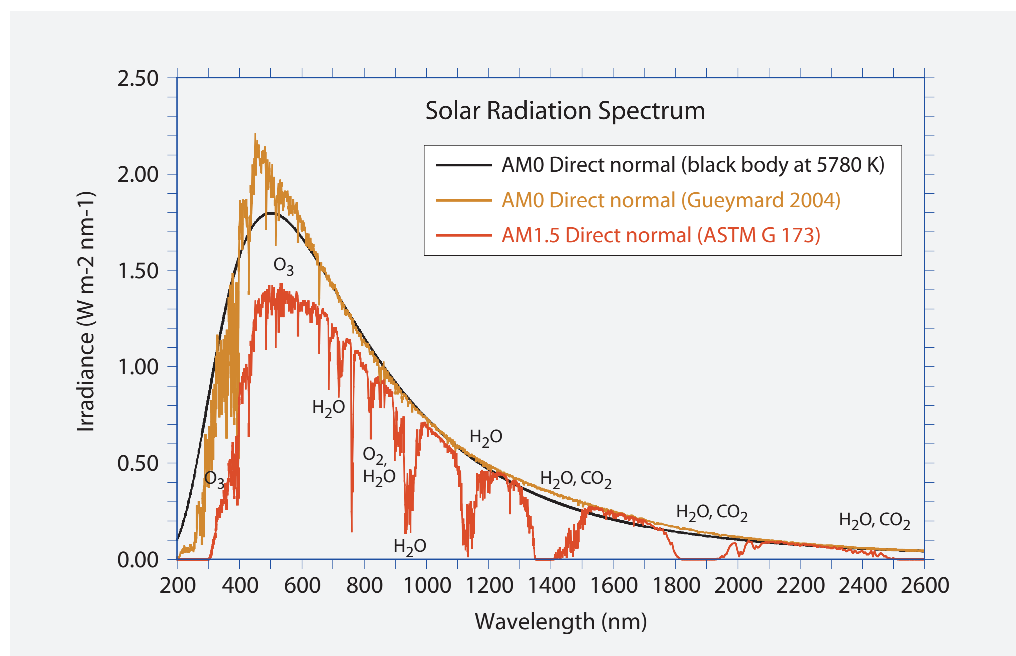
Tại sao chúng ta có thể thấy nhau? Thể đen và nhiệt độ của ánh sáng

Các nhà vật lý sử dụng thuật ngữ 'đen' theo một cách rất kỳ lạ. Một vật toả sáng hoàn hảo được gọi là *thể đen*. Trong phần này, 'hoàn hảo' có nghĩa là bề mặt của vật *không* ảnh hưởng tới màu của nó.

▷ ***Thể đen*** là một vật hấp thu mọi bức xạ chiếu tới nó.

Nói cách khác, thể đen là một vật không phản xạ bức xạ và không để bức xạ truyền qua. Thể đen là một sự lý tưởng hoá; trước hết, chúng chỉ đen ở nhiệt độ thấp. Khi nhiệt độ tăng, thể đen phát sáng hay toả sáng với các màu đen, nâu, đỏ, cam, vàng, trắng hay xanh nhạt.

Bản chất của thể đen là màu mà nó có, tức là ánh sáng mà nó phát ra, độc lập với bề mặt. Như vậy thể đen *lý tưởng* theo nghĩa này. Vật thể thực, là vật có thể hiện các hiệu



HÌNH 93 Quang phổ của thể đen ở 5780 K, quang phổ Mặt trời ở đỉnh của khí quyển theo hướng Mặt trời, có mật độ thông lượng bức xạ 1350 W/m^2, và quang phổ của lớp khí quyển (có khối lượng 1.5 khối lượng không khí), có mật độ thông lượng bức xạ 844 W/m^2. Cái sau mô tả gần đúng quang phổ điển hình của một ngày nắng đẹp ở mực nước biển. Các chất khí gây ra các đám hấp thu như ta thấy trong hình (© Chris Gueymard).

ứng bề mặt, được phân loại theo *độ phát xạ* của chúng. Độ phát xạ cho ta biết mức độ mà vật đó gần giống với thể đen. Gương có độ phát xạ khoảng 0.02, trong khi bồ hóng có giá trị cao đến 0.95. Trong thực tế mọi vật ở nhiệt độ thông thường không phải là thể đen: ta không thể xác định màu của chúng dựa trên sự phát xạ mà phần lớn dựa trên sự hấp thu và sự phản xạ của ánh sáng trên bề mặt của chúng.

Thể đen như ta sẽ thấy trong phần Thuyết lượng tử, có phổ phát xạ *trơn tru*. Một thí dụ cho phổ của một thể đen và phổ của một vật thực – trong trường hợp này là Mặt trời – được trình bày trong Hình 93.

Thể đen cũng được sử dụng để định nghĩa *màu trắng*. Màu mà ta thường gọi là *màu trắng thuần tuý* là màu do Mặt trời phát ra. Mặt trời không phải là một thể đen hoàn hảo, như Hình 93 cho ta thấy (nhiệt độ hiệu dụng của nó là 5780 K). Do vấn đề này, màu trắng thuần tuý hiện nay được định nghĩa là màu của thể đen có nhiệt độ 6500 K, theo Uỷ ban quốc tế về chiếu sáng. Như ta đã biết, thể đen nóng hơn sẽ có màu xanh hơn, thể đen lạnh hơn sẽ có màu vàng, cam, đỏ, nâu hay đen. Sao trên trời được phân loại theo cách này.

Xem 107
Quyển I, trang 261

Thể đen là các vật phát sáng hoàn hảo. Đa số vật thực chỉ là mẫu gần đúng của thể đen, ngay cả ở nhiệt độ mà chúng phát ra ánh sáng vàng. Thí dụ như tungsten trong các đèn tròn, nhiệt độ khoảng 2000 K, có độ phát xạ khoảng 0.4 đối với đa số các bước sóng nên quang phổ của nó là phần tương ứng với quang phổ của thể đen. (Tuy vậy, thuỷ tinh của đèn hấp thu phần lớn các thành phần tử ngoại và hồng ngoại nên quang phổ sau

cùng không phải là quang phổ của thể đen.)

Bức xạ thể đen có 2 tính chất quan trọng: một, công suất phát xạ tăng lên theo luỹ thừa 4 của nhiệt độ. Bạn có thể kiểm tra nhiệt độ Mặt trời nhờ hệ thức này, như đã đề cập ở trên, bằng cách so sánh kích thước Mặt trời với bề rộng ngón cái khi đưa thẳng Câu đố 142 d cánh tay ra trước mặt. Bạn có thể làm điều này không? (Gợi ý: việc sử dụng sự gần đúng Xem 108 dẫn tới nhiệt độ trung bình của Trái đất là 14.0°C bắt nguồn từ sự chiếu xạ của Mặt trời.)

Biểu thức chính xác của mật độ năng lượng u theo tần số phát xạ ν và nhiệt độ T có thể suy ra từ 'định luật' bức xạ của thể đen của Max Planck*

$$u(\nu, T) = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1} . \tag{76}$$

Ông đã khám phá ra công thức quan trọng này, mà ta sẽ bàn chi tiết hơn trong phần lượng tử của cuộc hành trình lên đỉnh, chỉ bằng cách so sánh đường cong này với số liệu thực nghiệm. Hằng số mới h này được gọi là *lượng tử tác dụng* hay *hằng số Planck* có giá trị là $6.6 \cdot 10^{-34}$ Js, và như ta sẽ thấy nó là phần cốt lõi của Thuyết lượng tử. Hằng Quyển IV, trang 17 số Boltzmann k, là tiền nhân tử của nhiệt độ trong Nhiệt động lực học vì nó có tác dụng như một hệ số biến đổi đơn vị từ nhiệt độ sang năng lượng.

Câu đố 143 e 'Định luật' bức xạ cho ta mật độ năng lượng phát xạ toàn phần là

$$u(T) = T^4 \, \frac{8\pi^5 k^4}{15 c^3 h^3} . \tag{77}$$

Dưới đây ta sẽ suy ra biểu thức của cường độ bức xạ nhiệt I. Ta suy ra biểu thức đó, tức Trang 238 phương trình (85), bằng cách sử dụng $I = uc/4$. (Tại sao?)

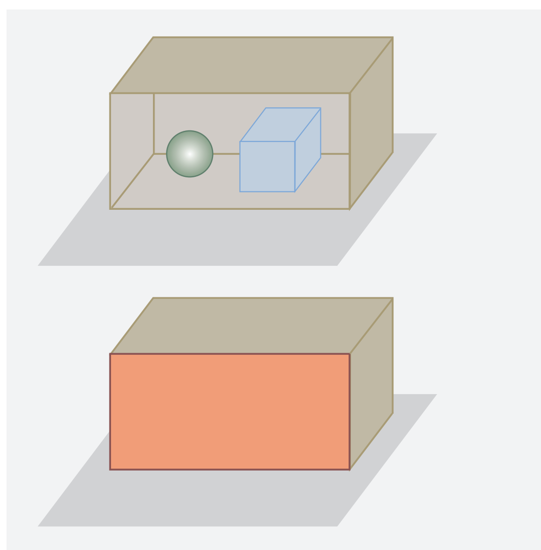
Tính chất thứ nhì của bức xạ thể đen là giá trị bước sóng tại đỉnh, tức là bước sóng có cường độ phát xạ lớn nhất. Bước sóng này quyết định màu của thể đen; nó được suy Câu đố 144 ny ra từ phương trình (76) và bằng

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{1}{T} \frac{hc}{4.956\, k} = \frac{2.90\,\text{mm K}}{T} \quad \text{nhưng} \quad \hbar\nu_{\text{max}} = T \cdot 2.82\, k/h = T \cdot 5.9 \cdot 10^{10}\ \text{Hz/K} . \tag{78}$$

Cả hai biểu thức này đều được gọi là *luật dịch chuyển màu của Wien* theo tên người khám phá ra nó. ** Sự thay đổi màu sắc theo nhiệt độ được sử dụng trong quang nhiệt kế; đây

* Max Planck (b. 1858 Kile, d. 1947 Göttingen), Giáo sư vật lý ở Berlin, là một nhà vật lý lớn trong lĩnh vực Nhiệt động lực học. Ông đã khám phá và đặt tên cho *hằng số Boltzmann k* và *lượng tử tác dụng h*, thường được gọi là hằng số Planck. Ông là người khai sinh cho Thuyết lượng tử. Ông cũng đã làm cho cộng đồng vật lý biết đến các công trình của Einstein và sau đó tìm việc cho Einstein ở Berlin. Ông đã nhận được giải Nobel vật lý năm 1918. Ông là nhân vật chính yếu trong việc thiết lập nền khoa học của Đức quốc; ông cũng là một trong một số rất ít người đã dũng cảm *nói thẳng* với Adolf Hitler rằng việc bắn những giáo sư người Xem 109 Do Thái là một điều tệ hại. (Ông nhận được một cơn thịnh nộ thay cho câu trả lời.) Ông được mọi người kính trọng và ngưỡng mộ vì sự khiêm tốn nhưng lại không may gặp phải nhiều bi kịch trong cuộc sống riêng tư.

** Wilhelm Wien (b. 1864 Gaffken, d. 1928 Munich) đã nhận được giải Nobel vật lý năm 1911 nhờ khám phá hệ thức này. Giá trị của hằng số xuất hiện trong định luật Wien có thể tính từ phương trình (76) nhưng không thể biểu diễn thành một công thức. Thật vậy, hằng số Wien chứa lời giải của phương trình $x = 5(1 - e^{-x})$.





HÌNH 94 Các vật bên trong lò nướng ở nhiệt độ phòng có màu khác nhau, khác với các vật ở nhiệt độ cao (photo © Wolfgang Rueckner).

cũng là cách mà ta xác định nhiệt độ của ngôi sao. Đối với 37°C, thân nhiệt của người, bước sóng đỉnh là 9.3 μm hay 115 THz, đó là màu của bức xạ do cơ thể người phát ra. (Bước sóng đỉnh không tương ứng với tần số đỉnh. Tại sao?) Mặt khác, theo luật viễn thông của nhiều quốc gia, các vật phát ra bức xạ cần một giấy phép để vận hành; từ đó suy ra là ở Đức chỉ có người chết là hợp pháp và chỉ khi cơ thể của họ có nhiệt độ là 0 độ tuyệt đối.

Câu đố 145 s

Ta thấy rằng một thể đen – hay một ngôi sao – có thể xanh, trắng, vàng, cam, đỏ hay nâu. Thể đen không bao giờ có màu lục. Bạn có thể giải thích điều này không?

Câu đố 146 e

Ta đã tiên đoán rằng một vật liệu bất kỳ được tạo thành từ các điện tích phát ra các bức xạ. Bạn có thể tìm ra được một lập luận đơn giản để chứng tỏ rằng bức xạ nhiệt này có phải (hoặc không phải) là bức xạ đã được vật lý cổ điển tiên đoán hay không?

Câu đố 147 ny

Nhưng ta hãy trở lại câu hỏi ở tiêu đề. Sự hiện hữu của bức xạ nhiệt hàm ý rằng một vật nóng bất kỳ sẽ lạnh đi cho dù nó được đặt trong một môi trường được cô lập hoàn toàn, cụ thể là chân không. Nói chính xác hơn, nếu bao vật bằng một bức tường, nhiệt độ của vật sẽ dẫn tới nhiệt độ của tường.

Điều thú vị là khi nhiệt độ hai bên bằng nhau thì có một điều kỳ lạ xảy ra. Ta khó kiểm tra được hiệu ứng này ở nhà nhưng trong sách vở có nhiều bức ảnh đầy ấn tượng.

Xem 110

Có một cách sắp xếp để tường và vật có nhiệt độ giống nhau là *lò nướng*. Hoá ra ta *không thể* thấy các vật trong lò bằng cách sử dụng ánh sáng là bức xạ nhiệt. Thí dụ như khi lò và các vật bên trong đều nóng đỏ, việc chụp một ảnh bên trong lò (không có flash!) không cho ta thấy vật nào; không có sự tương phản hay sự chênh lệch độ sáng nào cho phép ta phân biệt vật và tường bao quanh. Bạn có thể giải thích điều này không?

Câu đố 148 s

Tóm lại, ta có thể thấy nhau chỉ vì nguồn sáng ta sử dụng có nhiệt độ *khác với* nhiệt độ của chúng ta. Ta có thể thấy nhau vì ta *không* sống cân bằng nhiệt với môi trường quanh ta.



HÌNH 95 Tấm gương cuối cùng của lò mặt trời ở Odeillo, French Pyrenees (© Gerhard Weinrebe).

Giới hạn của việc tập trung ánh sáng

Các nguồn sáng sẽ sáng hết công suất. Có giới hạn nào không? Điều thú vị là đối với thể đen có một giới hạn quan trọng và hữu ích.

Nếu ta chế tạo một thấu kính hay một gương cong lớn, ta có thể thu gom ánh sáng của Mặt Trời và điều tiêu lên một điểm rất nhỏ. Khi còn nhỏ mọi người đã quen sử dụng thấu kính hội tụ để làm cháy các điểm đen trên tờ báo – hay các con kiến – bằng cách này. Ở Odeillo, Tây Ban Nha, những nhà nghiên cứu giàu có đã chế tạo các gương cong lớn như một cái nhà, để nghiên cứu việc sử dụng năng lượng mặt trời và tính chất của vật liệu ở nhiệt độ cao. Điều chủ yếu là gương cung cấp một cách tiết kiệm để đốt một cái lò đặt ngay tiêu điểm của nó. (Và 'tiêu điểm' là tiếng Latin dùng để chỉ 'lò sưởi'.)

Trẻ em đều nhanh chóng nhận thấy thấu kính hay gương lớn cho phép chúng đốt cháy vật dụng hay giấy tờ dễ hơn loại nhỏ. Địa điểm Odeillo trong Hình 95 đang giữ kỷ lục trong việc tìm kiếm vùng có khả năng tập trung ánh sáng lớn. Điều thú vị là việc chế tạo các gương lớn không có ý nghĩa nhiều. Dù kích thước là bao nhiêu đi nữa thì nhiệt
Xem 111 độ của nó cũng đều *bị giới hạn*:

▷ Nhiệt độ hiệu dụng của nguồn sáng ở tiêu điểm *không thể* vượt quá nhiệt độ của nguồn sáng gốc.

Trong thực tế, nhiệt độ của nguồn sáng cao hơn nhiệt độ ở tiêu điểm rất nhiều. Nhiệt độ ở bề mặt Mặt trời khoảng 5780 K; nhiệt độ cao nhất cho đến nay ở Odeillo khoảng 4000 K. Bạn có thể chứng minh giới hạn này tương đương với nguyên lý 2 của Nhiệt
Câu đố 149 s động lực học như Hemholtz, Clausius và Airy đã làm hay không?

Tóm lại, thiên nhiên đặt *một giới hạn* cho việc tập trung năng lượng. Ta có thể nói chính xác hơn là: Nhiệt động lực học giới hạn nhiệt độ đạt tới nhờ sự nung nóng bằng nguồn nhiệt.

Giới hạn nhiệt động lực trên sự nung nóng bằng ánh sáng không cấm ta sử dụng sự tập trung ánh sáng để thu thập năng lượng Mặt trời. Các nhà máy điện thí nghiệm như trong Hình 96 là một phương thức đầy hứa hẹn để cung cấp năng lượng gia dụng một khi giá nhiên liệu hoá thạch tăng cao.

Như ta đã thấy, một chùm bức xạ nhiệt có entropy. Trái lại, một chùm laser có entropy rất nhỏ. Ta vẫn có thể gán một nhiệt độ cho cả 2 chùm: nhiệt độ của chùm nhiệt là nhiệt độ của nguồn sáng; nhiệt độ của chùm laser là một số 'âm'. Điều này tạo ra một ý nghĩa



HÌNH 96 Nhà máy điện mặt trời ở Sanlucar la Mayor, gần Seville, Tây Ban Nha (© Wikimedia).

trực quan vì chùm laser có thể làm lạnh chất khí; nói chính xác hơn, chùm laser là một trạng thái không cân bằng và nhiệt độ trong trường hợp đó không xác định.

Trong nhiều quốc gia, tiền thuế bị phung phí trong các trung tâm *dung hợp lưu giữ quán tính*. Ở nơi đó, nhiều laser mạnh được tập trung vào một hình cầu vật liệu nhỏ kích thước 1 mm; nhiệt độ mục tiêu đã lên tới khoảng 3 MK (hay 300 eV). Tại sao điều này lại có thể xảy ra? Câu đố 150 s

Đo cường độ ánh sáng

Các nguồn sáng có độ sáng khác nhau. Việc đo đại lượng mà ta gọi là 'tối' hay 'sáng' khá rắc rối vì ánh sáng có thể khuếch tán hay định hướng. Để có số đo đúng, hệ đơn vị *SI* định nghĩa một đơn vị cơ bản đặc biệt là candela: Trang 352

- '*candela* là cường độ sáng, theo hướng đã cho, của một nguồn phát ra bức xạ đơn sắc có tần số $540 \cdot 10^{12}$ hertz và có cường độ bức xạ theo hướng đó bằng (1/683) watt/steradian.'

Như vậy candela là đơn vị công suất ánh sáng cho mỗi đơn vị góc (khối), thường được gọi là *cường độ sáng*, trừ trường hợp nó được hiệu chính cho độ nhạy của mắt: candela chỉ đo công suất *khả kiến* cho mỗi đơn vị góc. Định nghĩa candela chỉ đơn giản nói rằng 683 cd = 683 lm/sr tương đương với 1 W/sr. Thí dụ như một con đom đóm sinh ra

BẢNG 16 Một số giá trị độ rọi đã đo được.

Đối tượng	Độ rọi
Độ sáng của thân người	1 plx
Sao mờ	0.1 nlx
Sao Thiên Lang	10 μlx
phot (đơn vị độ rọi cũ)	10 μlx
Mộc tinh	20 μlx
Đêm đen không trăng	1 mlx
Trăng tròn	0.01 tới 0.24 lx
Phố đêm, ít xe cộ, đèn mờ	0.1 tới 3 lx
Phố đêm, đông xe	10 tới 30 lx
Đủ sáng để đọc	50 tới 100 lx
Màn ảnh chiếu film	100 lx
Nơi làm việc	0.2 tới 5 klx
Ngày nhiều mây	1 klx
Đèn sáng nhất, sử dụng trong phẫu thuật	120 klx
Ngày nắng đẹp	120 klx
Film trong đèn chiếu	5 Mlx
Làm đau mắt	100 Mlx

0.01 cd, một ngọn nến thực sự tạo ra khoảng 1 cd, đèn xe khoảng 100 cd và hải đăng khoảng 2 Mcd. Còn một cách khác để nhìn nhận candela như sau: quan sát một nguồn sáng 1 cd từ khoảng cách 1 m chỉ sáng hơn ánh trăng tròn một chút.

Công suất ánh sáng toàn phần, không kể hướng, được đo bằng lumen. Do đó, 683 lm = 683 cd sr tương đương với 1 W. Nói cách khác, cả lumen và watt đều đo công suất hay năng thông nhưng lumen chỉ đo phần công suất hay năng thông *khả kiến*. Sự khác biệt này được biểu thị bằng cách thêm vào từ 'sáng' hay 'bức xạ': như vậy lumen đo thông lượng *sáng* (quang thông) trong khi Watt đo thông lượng *bức xạ*.

Hệ số 683 xuất hiện trong định nghĩa mang tính lịch sử. Một cây nến thông thường phát xạ một cường độ sáng khoảng 1 candela. Ta hãy làm rõ điều này: vào ban đêm, ta có thể thấy một ngọn nến cách xa 10 hay 20 km. Một đèn tròn 100 W tạo ra 1700 lm và LED thương mại sáng nhất khoảng 20 lm, mặc dù các thiết bị phòng thí nghiệm vượt quá 1000 lm. Đèn chiếu film tạo ra khoảng 2 Mlm và ánh chớp sáng nhất như tia sét là 100 Mlm.

Mật độ thông lượng bức xạ (độ rọi năng lượng) của ánh Mặt trời khoảng 1300 W/m^2 vào một ngày nắng đẹp; mặt khác, *độ rọi* chỉ là 120 klm/m^2 = 120 klx hay 170 W/m^2. Một ngày hè nhiều mây hay một ngày đông trong vắt tạo ra khoảng 10 klx. Những con số này chứng tỏ rằng phần lớn năng lượng từ Mặt trời đến Trái đất nằm ngoài vùng phổ khả kiến.

Độ rọi là đại lượng mà ta thường gọi là 'độ sáng' trong đời sống thông thường. Trên một băng hà, nơi gần bờ biển, trên đỉnh núi hay trong điều kiện thời tiết đặc biệt độ sáng có thể lên tới 150 klx. Các viện bảo tàng thường được để tối vì tranh sơn màu gốc

nước bị ánh sáng trên 100 lx làm cho xuống cấp và tranh sơn dầu bị ánh sáng trên 200 lx
Xem 112 làm cho xuống cấp. Mắt mất khả năng phân biệt màu sắc trong khoảng 0.1 lx và 0.01 lx; mắt ngưng hoạt động khi độ rọi dưới 1 nlx. Thiết bị kỹ thuật tạo ra hình ảnh trong bóng tối, như kính nhìn trong bóng tối, bắt đầu hoạt động ở 1 μlx. Cũng cần nói thêm, thân người *phát sáng* với độ rọi khoảng 1 plx, khá nhỏ nên không thể phát hiện được bằng mắt nhưng ta có thể đo được dễ dàng bằng các thiết bị chuyên biệt. Nguồn gốc phát xạ vẫn còn đang được nghiên cứu.

Cường độ sáng lớn nhất là của một laser công suất lớn vượt qua 10^{18} W/m^2, nhiều
Câu đố 151 e hơn cường độ của ánh Mặt trời 15 bậc. (Nó là bao nhiêu lux?) Những cường độ như vậy được tạo ra bằng cách tụ tiêu các chùm laser xung. Điện trường trong những xung sáng như vậy có cùng bậc với điện trường trong các nguyên tử; do đó một chùm laser như
Xem 113 vậy ion hoá mọi vật chất mà nó gặp kể cả không khí.

Độ chói là đại lượng thường được các kỹ thuật gia về ánh sáng sử dụng. Đơn vị của nó 1 cd/m^2, được gọi không chính thức là 1 Nit viết tắt là 1 nt. Mắt người nhìn bằng các *tế bào hình que* khi độ chói từ 0.1 μcd/m^2 tới 1 mcd/m^2; nhìn bằng *tế bào hình nón* khi độ chói trên 5 cd/m^2. Mắt thấy tốt nhất khi độ chói giữa 100 và 50 000 cd/m^2 và chúng bị quá tải hoàn toàn khi độ chói trên 10 Mcd/m^2: toàn bộ phạm vi có 15 bậc của độ lớn. Rất ít các máy phát hiện kỹ thuật hoạt động tốt trong phạm vi này.

Các nguồn sáng và nguồn bức xạ khác

Ngoài thể đen có nhiều loại nguồn sáng khác. Các nguồn sáng lạnh từ cá phát sáng cho tới laser công suất lớn. Về kích thước thì từ một nguyên tử cho tới một toà nhà cao tầng, về giá thì từ một cho tới hàng triệu Euro và thời gian sử dụng thì vài phần của giây cho tới hàng trăm năm.

Laser là nguồn sáng quan trọng đối với công nghiệp, y học và nghiên cứu. Laser có thể phát ra ánh sáng khả kiến, hồng ngoại và tử ngoại, liên tục hay xung ánh sáng, với công suất, sự phân cực và hình dạng chùm tia khác nhau. Trong lĩnh vực chụp ảnh, laser
Quyển V, trang 108 được sử dụng nhiều trong Kỹ thuật hiển vi học, trong các Hệ chụp ảnh quét, trong Phép chụp ảnh cắt lớp và trong Phép toàn ký.

Các nguồn sóng vô tuyến khá phổ biến trong đời sống: mobile phone, máy phát vô tuyến, máy phát tv và walkie-talkie là các nguồn sóng vô tuyến. Chúng được sử dụng trong Phép chụp ảnh cộng hưởng từ, cho phép ta ghi hình nội quan của cơ thể người;
Quyển V, trang 162 trong thiên văn: vì nhiều ngôi sao là các nguồn vô tuyến nên ta có thể chụp ảnh bầu trời ở bước sóng vô tuyến. Ngày nay, Thiên văn vô tuyến là một phần quan trọng trong
Quyển II, trang 215 Thiên văn hiện đại dẫn tới nhiều khám phá. Thiên văn vô tuyến cũng là một công cụ quan trọng để kiểm tra một cách chính xác đồng thời khẳng định Thuyết tương đối tổng quát.

Ở đầu kia của phổ điện từ, nguồn sáng phát ra tia X và tia gamma cũng khá phổ biến. Chúng thường được sử dụng trong Y học và Khoa học vật liệu cũng như trong các kỹ thuật ghi hình khác.

Mọi nguồn bức xạ điện từ đều tiềm ẩn mối nguy hại cho con người vì vậy ta cần thận trọng khi sử dụng chúng. Điều này cũng đã dẫn tới các phát triển bất lợi khác.



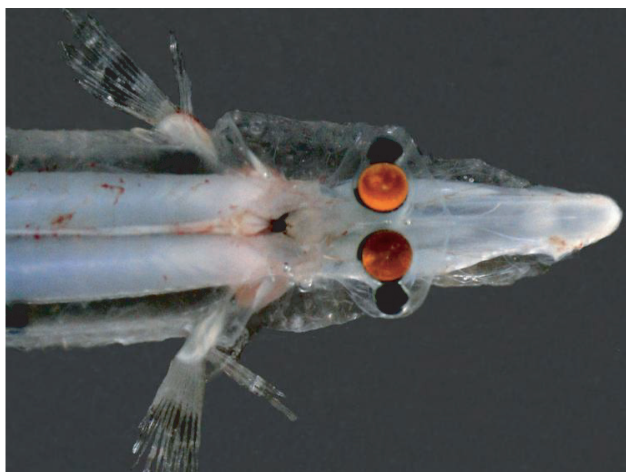
HÌNH 97 Một laser xung picosecond hiện đại và một nguồn tia X công nghiệp, cả hai có kích thước khoảng 700 mm (© Time-Bandwidth, SPECS).

Vũ khí bức xạ

Bức xạ điện từ cường độ lớn rất nguy hiểm. Trong nhiều quốc gia, ngân sách dành cho vũ khí nhiều hơn ngân sách dành cho giáo dục và sự thịnh vượng của công dân. Người ta đã nghiên cứu nhiều loại vũ khí tấn công sử dụng bức xạ điện từ, trong đó có 2 loại đặc biệt.

Loại đầu tiên là một xe tải có một antenne parabol chuyển động được, gắn trên mui, kích thước khoảng 1 m, phát ra chùm vi ba công suất lớn – vài kW – tần số 95 GHz. Chùm này vô hình, tuỳ theo công suất và hình dạng của chùm, nó gây ra đau đớn hay chết người trong khoảng cách 100 m hay hơn. Thiết bị kinh khủng này, có tên gọi chính thức là *hệ thống ngăn chặn tích cực*, có thể tạo ra nhiều nạn nhân kể cả do sự sơ suất của người điều khiển, đã có mặt năm 2006. Nhiều chính trị gia cực đoan muốn cung cấp nó cho cảnh sát. (Có ai ngờ rằng một antenne parabol lại nguy hiểm như vậy?) Nỗ lực ngăn cấm nó trên thế giới đang nhận được sự ủng hộ một cách chậm chạp.

Vũ khí thứ hai đang được phát triển được gọi là *laser sát thương xung động*. Ý tưởng ở đây là lấy một laser phát ra bức xạ không bị không khí, hơi nước hay vật cản hấp thu. Một thí dụ là laser deuterium fluoride mạch động phát ra tia 3.5 μm. Laser này đốt cháy mọi vật mà nó chạm vào; ngoài ra, sự bay hơi của plasma do sự đốt cháy khiến cho người bị trúng tia laser bị đau đớn và tổn thương nặng nề. May mắn thay, vẫn còn nhiều khó



HÌNH 98 Cá ma Dolichopteryx longipes có các gương màu cam giúp cho nó tạo ra các hình ảnh ma quái từ các ánh sáng mờ mờ của các sinh vật sinh phát quang từ bên dưới chiếu lên (© Tamara Frank).

khăn gây trở ngại cho việc biến chúng thành vũ khí trong thực tế. Tuy vậy, các chuyên gia vẫn mong chờ các vũ khí laser, gắn trên xe tải, sớm xuất hiện – theo các phiên bản của Potemkin.

Tóm lại, vũ khí bức xạ có lẽ sẽ xuất hiện trong những năm sắp tới. Dù vậy ta vẫn không biết rõ những người đang phát triển vũ khí như vậy sẽ nói với con của họ điều gì khi về đến nhà sau một ngày làm việc.

Hình ảnh – sự vận chuyển ánh sáng

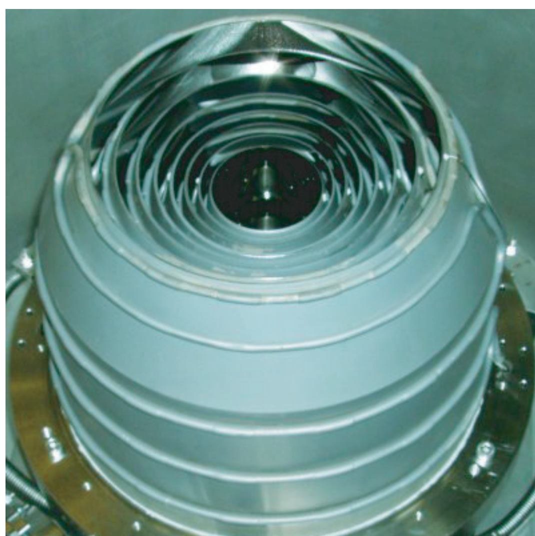
Mọi hình ảnh đều được tạo thành bằng cách vận chuyển ánh sáng theo một cách hữu ích dọc theo những con đường đã biết. Con đường đơn giản nhất là đường thẳng.

Tạo hình ảnh bằng gương

Vì ánh sáng chuyển động theo đường thẳng, một gương phẳng sẽ tạo ra một ảnh có cùng kích thước với vật. Người ta có thể sử dụng gương cong để phóng lớn, thu nhỏ và làm biến dạng ảnh. Thí dụ như gương trong phòng ngủ sang trọng thường hơi cong để ảnh trong gương có vẻ ốm hơn.

Phần lớn gương nhân tạo làm bằng kim loại hoá hơi phủ lên mặt thuỷ tinh; trái lại, nhiều sinh hệ không thể tạo ra kim loại nguyên chất. Mặt khác, trong các sinh hệ, có rất nhiều gương: chúng được tìm thấy *ở lớp mô tapetum* trong mắt, trên vảy cá, trên các con bọ, v.v... Thiên nhiên đã tạo ra các tấm gương như thế nào mặc dù không thể sử dụng kim loại nguyên chất? Hoá ra các lớp vật liệu mỏng, trong suốt khác nhau – một trong các lớp đó là guanine tinh thể – có thể tạo ra các tấm gương tốt như gương kim loại. Các tấm gương như vậy dựa trên hiệu ứng giao thoa và được gọi là *gương điện môi*. Gương điện môi cũng được sử dụng để làm gương laser.

Các gương tạo ảnh được sử dụng trong các kính thiên văn lớn, các hệ X quang và trong các thiết bị y khoa được các bác sĩ sử dụng. Điều thú vị là có một số sinh vật cũng sử dụng gương để tạo ảnh. Trường hợp nổi tiếng nhất là cá ma như ta thấy trong Hình 98. Nó có thể nhìn lên và xuống cùng một lúc và làm được như vậy nhờ các gương gắn vào



HÌNH 99 Bộ thu ánh sáng có phương tới là, kiểu Wolter cho bức xạ 13.5 nm được chế tạo với việc sử dụng các gương đồng tâm (© Media Lario Technologies).

mắt.

Nhân tiện bạn hãy cho biết tại sao gương thường được sử dụng trong kính thiên văn chứ không sử dụng trong kính hiển vi? Câu đố 152 s

Trong hệ thống chiếu sáng, gương được sử dụng để định hình các chùm ánh sáng trong xe, trong đèn pin và trong đèn LED. Có thể có một số sinh vật nước sâu sử dụng gương cho các mục đích tương tự – nhưng tác giả chưa biết được trường hợp nào.

Hệ gương phức tạp nhất cho tới nay được dùng trong hệ quang khắc với mặt nạ tia cực tím, sẽ được sử dụng trong tương lai để sản xuất các mạch tích hợp. Các hệ này dùng bước sóng 13.5 nm là bước sóng không có thấu kính thích hợp. Việc chuẩn trực một chùm mở rộng như vậy đòi hỏi nhiều gương đồng tâm, như ta thấy trong Hình 99. Các quang hệ này là các hệ tốt nhất mà công nghệ hiện đại có thể cung cấp; các gương này có bề mặt xù xì dưới 0.4 nm. Các hệ gương quang học tương tự cũng được sử dụng trong các kính thiên văn tia X đặt trên vệ tinh.

Ánh sáng có luôn luôn chuyển động theo một đường thẳng hay không? – Sự khúc xạ

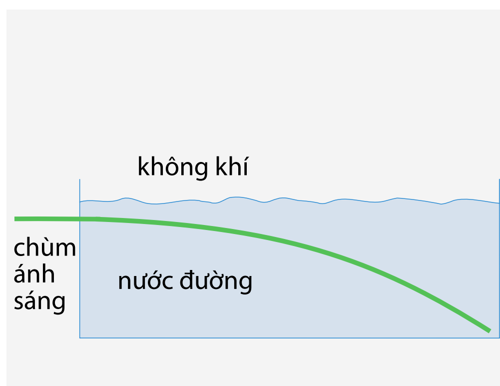
Ánh sáng thường du hành theo đường thẳng. Một laser trong đêm mù sương cho thấy điều này rõ nhất như được minh hoạ trong Hình 100. Nhưng một bút laser bất kỳ trong sương mù cũng có sự hấp dẫn tương tự. Thật vậy, ta sử dụng ánh sáng để *xác định* 'tính thẳng' như đã giải thích trong khi tìm hiểu Thuyết tương đối. Trang 16 Tuy vậy, có nhiều trường hợp ánh sáng không đi theo đường thẳng và mọi chuyên gia về chuyển động đều nên biết điều này. Xem 114

Trong nước đường loãng, chùm ánh sáng bị uốn cong như ta thấy trong Hình 101. Lý do là trong thí nghiệm đó nồng độ đường thay đổi theo độ sâu. Bạn có thể giải thích hiệu ứng này không? Câu đố 153 s

Các thí nghiệm chi tiết hơn chứng tỏ rằng một chùm ánh sáng bị uốn cong khi nó gặp sự thay đổi môi trường trên đường đi của nó. Hiệu ứng rất quen thuộc này được gọi



HÌNH 100 Ánh sáng thường du hành theo đường thẳng. Trong hình này, một chùm laser tần số natrium được sử dụng làm ngôi sao dẫn đường laser để cung cấp tín hiệu cho bộ quang học thích ứng trong các kính thiên văn lớn. Laser chiếu vào lớp natrium trong khí quyển ở độ cao khoảng 90 km, cung cấp cho ta một ngôi sao nhân tạo. Ngôi sao này được sử dụng để cải thiện chất lượng hình ảnh của kính thiên văn thông qua bộ quang học thích ứng. Trong hình này, hình ảnh các ngôi sao thực bị nhoè đi vì thời gian phơi sáng dài tới 3 phút (photo by Paul Hirst).





HÌNH 101 Nước đường loãng uốn cong ánh sáng (© Jennifer Nierer).

Quyển I, trang 263

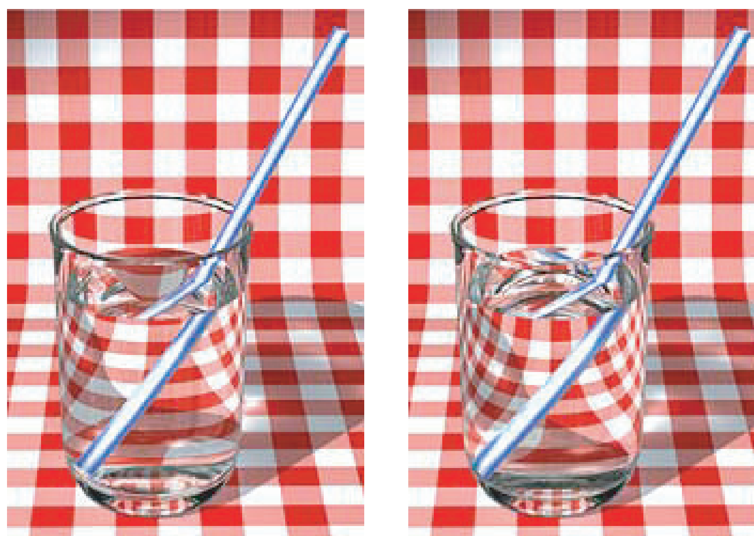
là *hiện tượng khúc xạ*. Hiện tượng này làm thay đổi dáng vẻ bàn chân của chúng ta lúc ta ở trong bồn tắm; nó cũng làm các bể nuôi cá hình như cạn hơn và tạo ra các hiệu ứng như ta thấy trong Hình 102 và Hình 103. Hiện tượng khúc xạ là một hệ quả của sự thay đổi vận tốc phase của ánh sáng khi đi từ môi trường này sang môi trường khác; mọi hiệu ứng khúc xạ đều có thể giải thích bằng Hình 104.

Hiện tượng khúc xạ là hệ quả của nguyên lý tối thiểu hoá chuyển động của ánh sáng:

▷ Ánh sáng luôn luôn chọn đường đi có thời gian du hành *ngắn nhất*.

Ánh sáng chuyển động trong nước chậm hơn trong không khí; đó là nguyên do của sự uốn cong được minh hoạ trong Hình 105.

Tỷ số tốc độ giữa không khí và nước được gọi là *chiết suất* của nước. Chiết suất thường viết tắt là n, phụ thuộc vào vật liệu. Chiết suất của nước khoảng 1.3. Tỷ số tốc độ này cùng với nguyên lý thời gian cực tiểu dẫn đến 'định luật' khúc xạ, một hệ thức đơn giản giữa



HÌNH 102 Ảnh đồ hoạ máy tính hiện thực biểu diễn sự khúc xạ trong nước và trong nước đường loãng (graphics © Robin Wood). Bạn có thể chỉ ra hình nào của nước/nước đường không?

Câu đố 154 e



HÌNH 103 Một hiệu ứng khúc xạ đẹp mắt tại mặt phân cách nước–không khí mà bạn có thể thực hiện tại nhà (© Maric Vladimir).

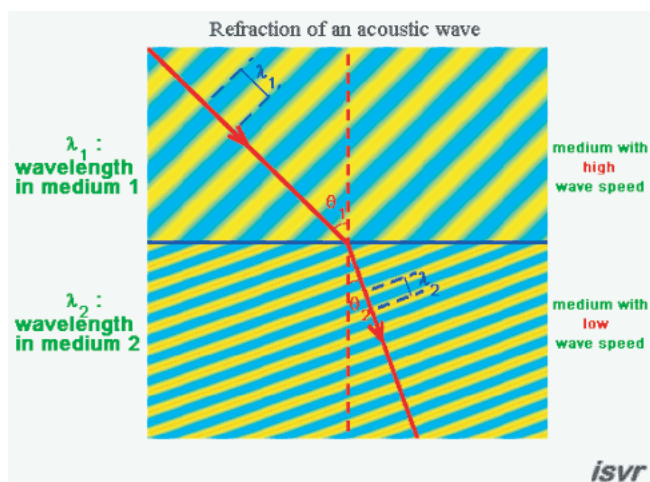
các sin của 2 góc trong Hình 105, Định luật Snell. Bạn có thể suy ra định luật này không? Đúng ra chiết suất của vật liệu được định nghĩa trong chân không chứ không phải trong không khí. Nhưng sự khác nhau không đáng kể vì các chất khí chủ yếu là chân không và chiết suất của chúng gần bằng 1.

Câu đố 155 s

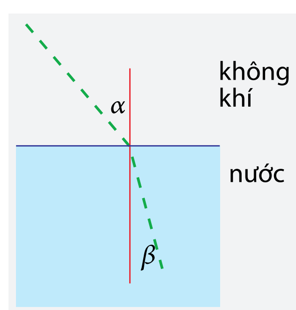
Trong nhiều chất lỏng và chất rắn, tín hiệu sáng chuyển động chậm hơn trong chân không; hai vận tốc phase và nhóm (khác nhau) của ánh sáng trong vật chất thường *nhỏ hơn c*, tốc độ ánh sáng trong chân không. Ta đã bàn luận về sự khác nhau giữa các tốc độ trên. Đối với vật liệu 'thông thường', chiết suất n, tỷ số của c đối với vận tốc phase bên trong vật liệu lớn hơn 1. Chiết suất là một tính chất quan trọng của vật liệu dùng để mô tả các hiệu ứng quang học. Thí dụ chiết suất của ánh sáng khả kiến trong nước là 1.3, trong thuỷ tinh khoảng 1.5 và trong kim cương là 2.4. Giá trị lớn này giải thích cho sự lấp lánh của kim cương được cắt thành *kim cương 57 mặt*.

Trang 131

Chiết suất cũng phụ thuộc vào bước sóng; hiện tượng này được gọi là *hiện tượng tán sắc*, có trong phần lớn các vật liệu. Lăng kính ứng dụng sự tán sắc trong thuỷ tinh để tách ánh sáng trắng hay ánh sáng khác thành các màu hợp thành. Kim cương, đặc biệt



HÌNH 104 Phim biểu diễn hiện tượng khúc xạ (QuickTime film © ISVR, University of Southampton).



HÌNH 105 Hiện tượng khúc xạ ánh sáng bắt nguồn từ sự tối ưu hoá thời gian du hành.

là kim cương nhiều mặt, hoạt động như một lăng kính và đây là nguyên do thứ 2 gây ra sự lấp lánh.

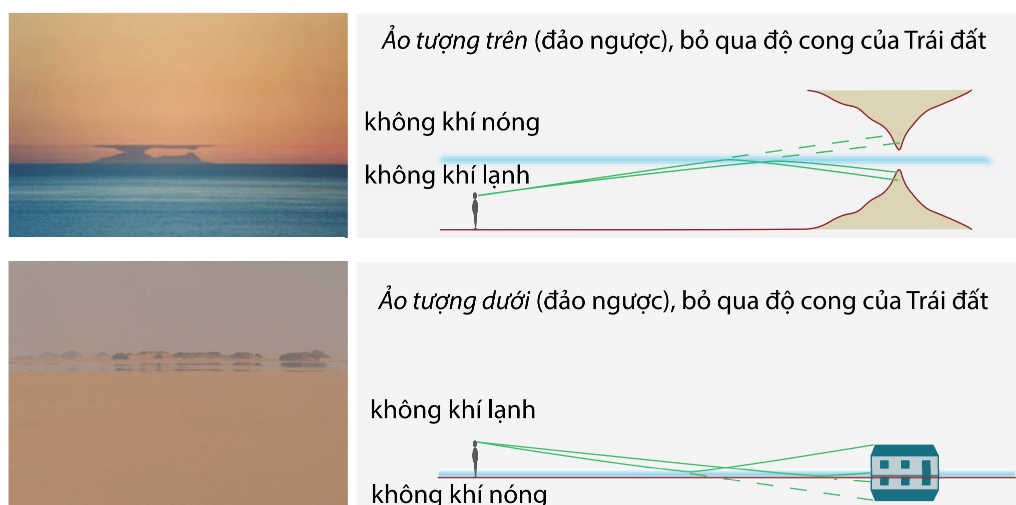
Khác với vật liệu 'thông thường', có các vật liệu có chiết suất nhỏ hơn 1 nên vận tốc phase lớn hơn *c*. Thí dụ như vàng có chiết suất 0.2 đối với ánh sáng khả kiến nên vận tốc phase khoảng 5*c*. Đúng ra hầu hết các vật liệu đều có chiết suất nhỏ hơn 1 đối với *một số* tần số sóng, kể cả muối ăn. Xem 115

Tóm lại, sự khúc xạ ánh sáng, sự đổi phương chuyển động của ánh sáng, bắt nguồn từ sự khác nhau của vận tốc phase của ánh sáng trong các vật liệu khác nhau. *Sự thay đổi vật liệu làm đường đi của ánh sáng bị uốn cong.* Hiện tượng khúc xạ rất phổ biến vì rất hiếm khi các vật liệu kề nhau lại có chiết suất giống nhau.

Các chất khí có chiết suất gần bằng giá trị 1 của chân không. Tuy vậy chất khí vẫn gây ra sự khúc xạ – kể cả không khí chung quanh ta.

Từ sự khúc xạ của khí quyển tới ảo tượng

Nếu ánh sáng di chuyển trên một đoạn đường dài trong không khí thì hiện tượng khúc xạ trở nên quan trọng. Thí dụ như khi ta đứng ngắm một ngọn núi xa, ánh sáng không đi theo đường thẳng mà mà lệch đi một góc lên đến nhiều phút. *Sự khúc xạ trên mặt đất*



HÌNH 106 Nền tảng của ảo tượng là sự phản xạ hiệu dụng bắt nguồn từ sự khúc xạ trong các lớp không khí nóng; nó có thể dẫn tới các hiệu ứng ngoạn mục như ảo tượng trên đảo ngược (hình trên) và ảo tượng dưới (hình dưới) (photographs © Thomas Hogan and Andy Barson).

này gây ra nhiều khó khăn cho ngành trắc địa.

Ánh sáng đến từ ngôi sao cũng bị khúc xạ khi đi vào khí quyển của Trái đất. *Sự khúc xạ thiên văn* này khoảng 1 phút ở độ cao 45 độ và thường là 30 phút khi ở chân trời. Do đó ta có thể nói rằng khi ta thấy Mặt trời chạm chân trời thì thật ra nó đã lặn rồi! Giá trị đúng của độ uốn cong phụ thuộc gradient nhiệt độ; chúng thường lớn khi ở vĩ độ lớn. Đôi khi độ uốn cong có thể lớn đến 2 độ; trong các trường hợp ngoại lệ này, ta vẫn thấy Mặt trời khi nó đã lặn; hiện tượng này được gọi là *hiệu ứng Novaya Zemlya*.

Chiết suất của chất khí phụ thuộc nhiệt độ; gradient nhiệt độ thường tỷ lệ với gradient mật độ. Trong không khí có nhiệt độ thay đổi, hiện tượng khúc xạ trên mặt đất làm cho đường đi tia sáng bị uốn cong tạo ra nhiều hiệu ứng.

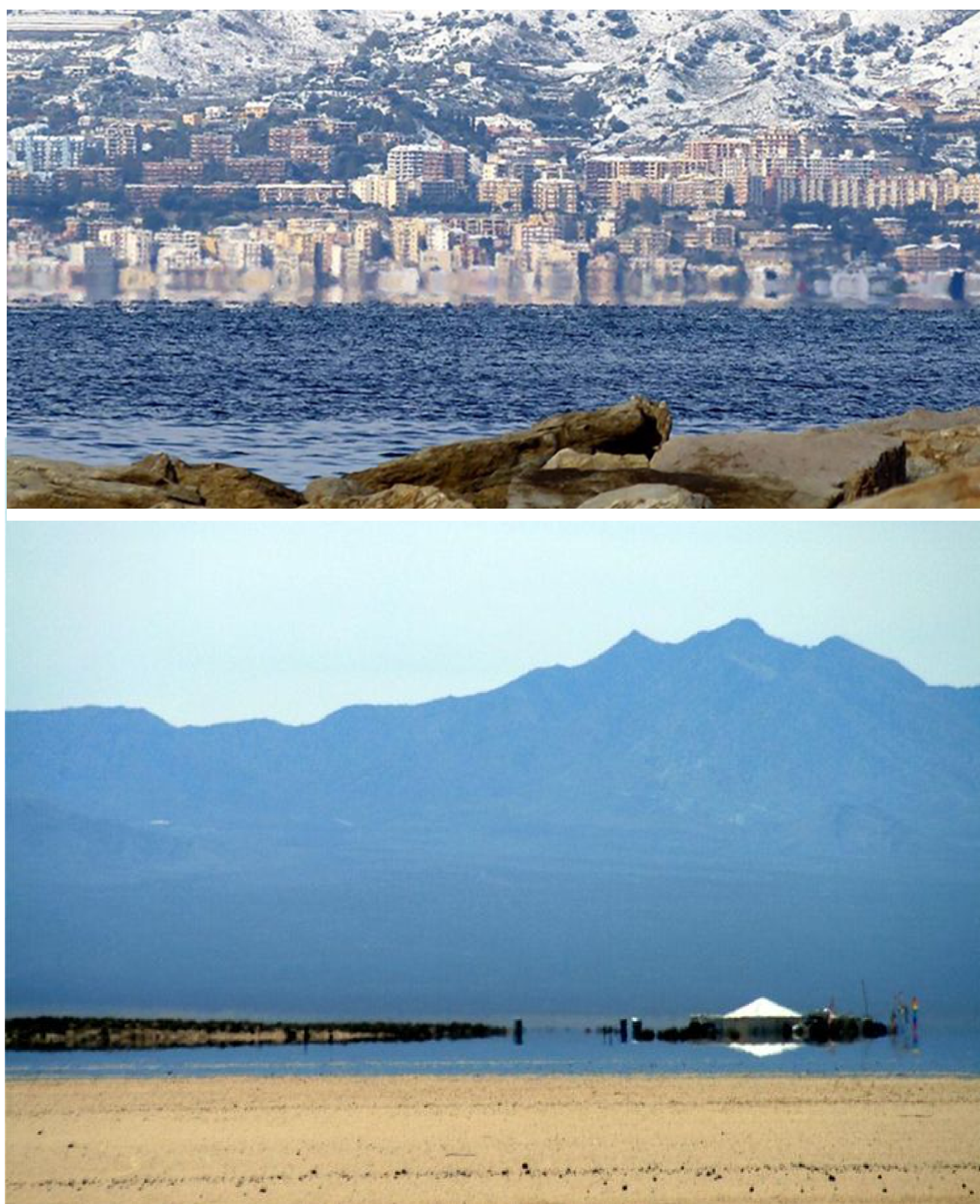
Sự lấp lánh của sao trời bắt nguồn từ sự thay đổi chiết suất do các hiện tượng cuộn Quyển I, trang 89 xoáy của không khí gây ra. Nó đã được trình bày trong Quyển 1.

Sự khúc xạ do khí quyển có thể làm cho các vật ở chân trời lơ lửng trong không khí – hiệu ứng *bóng mờ* – hay biến mất dưới chân trời – hiệu ứng *đắm chìm*. Nếu ảnh bị căng ra hay bị nén lại, hiệu ứng được gọi là *nhô cao* và *hạ thấp*.

Hiệu ứng nổi tiếng nhất do khúc xạ gây ra là *ảo tượng*. Ảo tượng – mặc dù có tên như vậy – bắt nguồn từ sự khúc xạ các tia sáng trong lớp không khí ở đường chân trời ấm Xem 116 hơn các lớp không khí kề bên, như ta thấy trong Hình 106. Ảo tượng luôn luôn xuất hiện gần chân trời, trong những dải hẹp hơn bề rộng của một ngón tay cách mắt một cánh tay.

Trong lớp không khí ở dưới, thí dụ như trên mặt đất, có thể xuất hiện một *ảo tượng dưới*, trong đó có thêm một ảnh ngược xuất hiện *dưới* hình ảnh trực tiếp. Ảo tượng dưới thường được thấy trên xa lộ nóng bỏng. Chúng cũng xuất hiện trong sa mạc như trong Hình 107 và trên băng tuyết.

Nếu lớp không khí nóng hơn ở trên, ta đang nói về *lớp nghịch đảo*. Nếu quan sát viên ở dưới lớp nghịch đảo, nhiều loại ảo tượng có thể xảy ra: ảo tượng trên, trong đó một ảnh



HÌNH 107 Hai ảo tượng dưới: một ở nơi là nguồn gốc của thuật ngữ 'fata morgana', eo biển Messina (hình trên) và một ở sa mạc (photographs © Nicola Petrolino and Mila Zinkova).

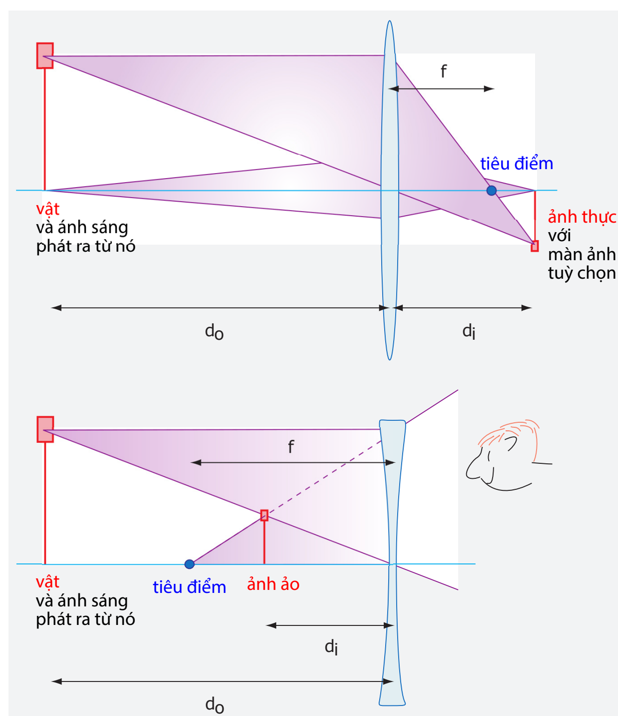
đảo ngược được thêm vào *bên trên* hình ảnh trực tiếp, hay ảo tượng phức hợp, trong đó nhiều ảnh phụ xuất hiện. Ảo tượng sau, đôi khi cũng không phải là ảo tượng, được gọi là *fata morgana*. Mọi ảo tượng đều bắt nguồn từ hiện tượng khúc xạ; chi tiết của chúng phụ thuộc vào biên dạng nhiệt độ không khí và độ cao tương đối của người quan sát, lớp nghịch đảo và vật thể được quan sát. Độ cong của Trái đất cũng có vai trò nhất định.



HÌNH 108 Hai ảo tượng dưới tạo ra hiệu ứng bóng mờ (photographs © Olaf Schneider and Gerold Prenger).

Từ sự khúc xạ tới thấu kính

Sự khúc xạ được sử dụng chủ yếu trong việc thiết kế *các thấu kính*. Người ta có thể chế tạo các mặt cong chính xác bằng thuỷ tinh để *hội tụ* ánh sáng. Mọi thiết bị điều tiêu, như thấu kính, có thể được sử dụng để tạo ra hình ảnh. Hai loại thấu kính chính cùng với tiêu điểm và ảnh do chúng tạo ra được trình bày trong Hình 109; chúng được gọi là *thấu kính hội tụ* và *thấu kính phân kỳ*. Khi một vật xa thấu kính hội tụ hơn tiêu điểm của nó, thấu kính tạo ra một ảnh *thực* tức là một ảnh có thể chiếu lên trên màn. Trong các trường hợp khác thấu kính tạo ra *ảnh ảo*: ảnh thấy được bằng mắt nhưng không thể

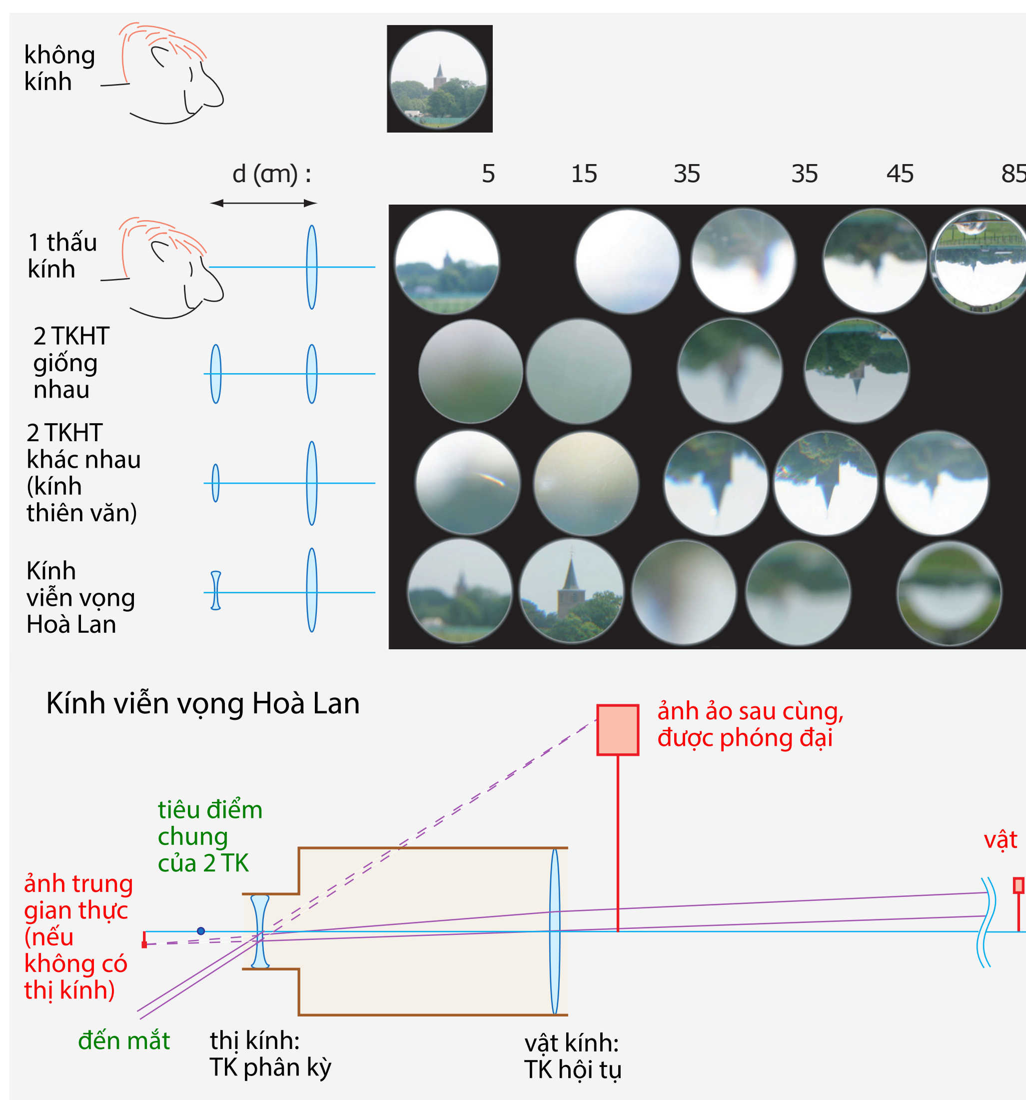


HÌNH 109 Một ảnh thực do thấu kính hội tụ tạo ra (nếu được sử dụng theo cách trên hình) và ảnh ảo do thấu kính phân kỳ tạo ra.

chiếu lên màn. Khi vật được đặt giữa tiêu điểm và thấu kính hội tụ, thấu kính hoạt động như một *kính lúp*. Hình 109 cũng cho ta suy ra *công thức thấu kính mỏng* kết nối d_o, d_i và f. Công thức đó là gì?
Câu đố 156 s

Mặc dù kính và thấu kính đã được biết tới từ cổ thời, phải qua Thời trung cổ người ta mới ghép hai thấu kính để tạo ra các quang cụ phức tạp hơn. Các hiệu ứng khác nhau có thể được quan sát bằng 1 hay 2 thấu kính như ta thấy trong Hình 110. *Kính viễn vọng* được phát minh – sau sự thành công một phần của Giambattista della Porta ở Ý – ngay trước năm 1608 ở Hoà Lan. Nổi tiếng nhất trong (ít nhất) 3 nhà phát minh đồng thời là nhà sản xuất thấu kính Johannes Lipperhey (b. *c.* 1570 Wesel, d. 1619 Middelburg) người đã làm giàu nhờ bán kính viễn vọng cho quân đội Hoà Lan. Khi Galileo nghe thấy phát minh này, ông nhanh chóng tiếp nhận và cải thiện nó. Năm 1609, Galileo đã thực hiện những quan sát thiên văn đầu tiên; chúng đã làm ông nổi tiếng khắp thế giới. *Kính viễn vọng Hoà Lan* có một ống ngắn tạo được một ảnh sáng và cùng chiều. Độ phóng đại của nó là tỷ số 2 tiêu cự của 2 thấu kính. Ngày nay nó vẫn còn được sử dụng làm ống nhòm trong nhà hát. Qua nhiều năm, nhiều cách chế tạo kính viễn vọng khác đã được phát triển; ngày nay, các kính viễn vọng hiệu suất cao sử dụng gương thay vì thấu kính; chúng không nặng nề và cho phép sử dụng quang học thích ứng.
Xem 117
Câu đố 157 e
Xem 118

Cũng cần nói thêm trong sinh vật cũng có kính viễn vọng. Nhiều loài nhện có nhiều loại mắt và một số nhện có tới 6 cặp mắt khác nhau. Đặc biệt, loài nhện nhảy *Portia (Salticidae)* có 2 mắt lớn đặc biệt, được tạo ra để nhìn vật ở xa, có 2 thấu kính sau mỗi mắt; thấu kính thứ 2 và võng mạc có thể cử động nhờ bắp thịt nên nhện có thể hướng kính viễn vọng của chúng theo các hướng khác nhau một cách hiệu quả mà không cần

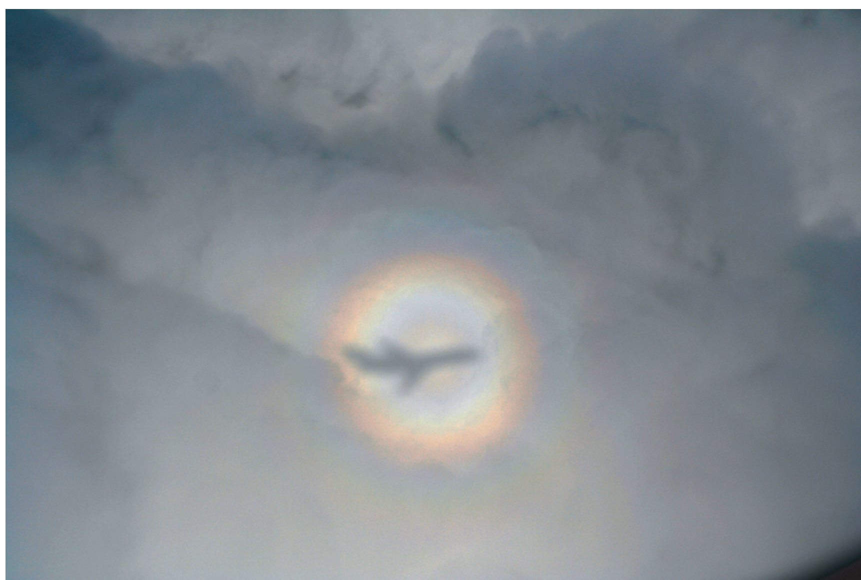


HÌNH 110 Sự khúc xạ của thấu kính là nền tảng của kính viễn vọng. Hình trên, thí nghiệm với các thấu kính dẫn tới sự phát triển của kính viễn vọng: vật được quan sát so với ảnh được tạo ra bởi 1 thấu kính hội tụ, 2 thấu kính hội tụ giống nhau, 2 thấu kính hội tụ trong kính thiên văn và 1 thấu kính phân kỳ + 1 thấu kính hội tụ trong kính viễn vọng Hoà Lan, ở các khoảng cách khác nhau so với mắt; hình dưới, giải thích hoạt động của kính viễn vọng Hoà Lan (photographs © Eric Kirchner).

chuyển động đầu. Để xử lý dữ liệu từ các con mắt, nhện nhảy cần một bộ óc lớn. Đúng ra có khoảng 50 % khối lượng cơ thể nhện nhảy là não bộ.

Có một cách khác để kết hợp 2 thấu kính để tạo ra *kính hiển vi*. Bạn có thể giải thích cho một người không phải là nhà vật lý cách hoạt động của kính hiển vi không? Werner Heisenberg suýt rớt trong kỳ thi tiến sĩ vì không làm được điều này. Tuy nhiên vấn đề này không khó. Thật vậy, người phát minh kính hiển vi là một người tự học ở thế kỷ 17: kỹ thuật gia Hoà Lan Antoni van Leeuwenhoek (b. 1632 Delft, d. 1723 Delft) đã mưu sinh

Câu đố 158 s



HÌNH 111 Hào quang do các hạt nước trong một đám mây tạo ra (© Brocken Inaglory).

nhờ bán được trên 500 kính hiển vi cho các người đương thời. (Đây là một nhận xét có phần khó chịu: Van Leeuwenhoek chỉ sử dụng 1 thấu kính chứ không phải 2 như kính hiển vi hiện đại.)

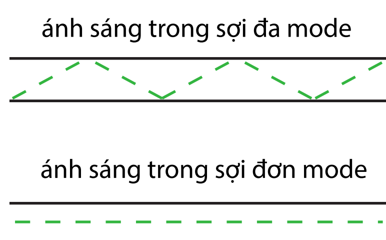
Không có sơ đồ tia sáng, nếu chỉ có thấu kính của kính viễn vọng hay kính hiển vi thì đã đầy đủ chưa nếu không có mắt? Bạn có thể thêm điều kiện này và xem thiết bị có hoạt động hay không. Câu đố 159 ny

Như ta đã đề cập, sự khúc xạ luôn luôn phụ thuộc màu sắc; nó cho ta hiện tượng tán sắc. Vì tán sắc nên thấu kính tạo ra sắc sai; chúng là các viền màu bao quanh ảnh. Để tránh hiện tượng này, kính hiển vi hay máy ảnh có *nhiều* thấu kính được làm bằng nhiều loại thuỷ tinh *khác nhau*. (Chúng cũng chứa nhiều thấu kính cùng loại thuỷ tinh để bổ chính cho các sai sót hình học do hình dạng thấu kính được gọi là *quang sai Seidel*, độc lập với màu sắc.) Các loại thấu kính khác nhau bổ chính cho sự tán sắc và tránh được các viền màu của ảnh. Sự phụ thuộc màu sắc của sự khúc xạ trong các giọt nước cũng là nền tảng cho cầu vồng, như ta sẽ thấy sau đây; cầu vồng có thể được xem như là một đĩa trắng có viền màu do các giọt nước đóng vai trò thấu kính tạo ra. Sự khúc xạ trong các tinh thể nước đá – có lúc tán sắc có lúc không – trong khí quyển là nền tảng cho hiện tượng quầng, cột Mặt trời và nhiều kiểu thức quang học khác mà ta thường thấy quanh Mặt trời hay Mặt trăng trong thời tiết lạnh giá. Trang 125 Xem 119

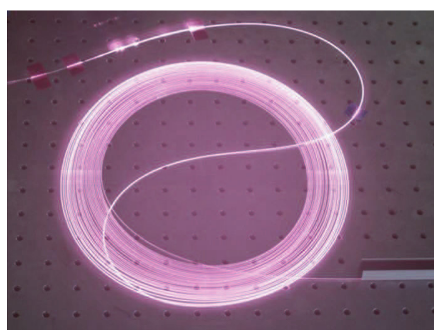
Mắt người cũng có hiện tượng khúc xạ phụ thuộc màu sắc tức là tán sắc. May mắn là hiệu ứng này nhỏ. Thật vậy, đối với hoạt động của mắt thì *hình dạng cong của giác mạc* quan trọng hơn năng suất khúc xạ của thuỷ tinh thể vì thuỷ tinh thể được nhúng chìm trong một môi trường gần như có cùng chiết suất, như vậy sẽ giới hạn tác dụng khúc xạ. Tác dụng nhỏ của sự khúc xạ phụ thuộc màu không được hiệu chỉnh trong mắt mà được hiệu chỉnh trong não. Do đó, ta chỉ có thể nhận ra sự tán sắc của thuỷ tinh thể nếu sự hiệu chỉnh của não bị ngăn lại, thí dụ như khi chữ đỏ và xanh được in trên nền đen như trong Hình 112. Ta có ấn tượng là chữ đỏ nổi lên trước chữ xanh. Bạn có thể giải



HÌNH 112 Quan sát hình này ở độ phóng đại lớn hơn sẽ cho ta thấy sự tán sắc của mắt người: các ký tự nổi lên ở các độ sâu khác nhau.







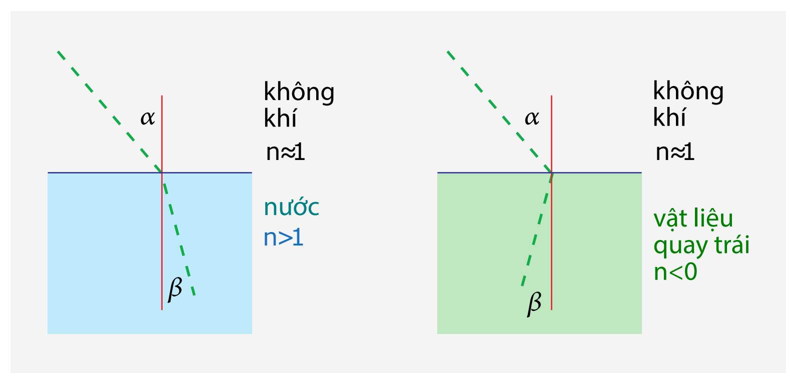


HÌNH 113 Sợi quang: nguyên lý hoạt động của 2 loại sợi quang, loại bọt biển kỳ lạ Euplectella aspergillum (cao khoảng 30 cm) chứa các sợi quang silic có thấu kính ở đầu sợi và được tổng hợp ở nhiệt độ nước để giúp cho tảo cộng sinh, một laser sợi quang hiện đại được sử dụng trong việc xử lý vật liệu và trong y học; nhiều sợi dán với nhau thành các búp sợi để làm thay đổi kích thước hình ảnh (đường kính lớn nhất khoảng 20 cm) (© NOAA, Hochschule Mittweida, Schott).

Câu đố 160 s thích hiệu ứng nổi này không?

Uốn cong ánh sáng bằng ống – quang học sợi

Có một cách khác để uốn cong ánh sáng, cũng dựa trên sự khúc xạ, được nhiều động vật và nhiều thiết bị kỹ thuật sử dụng: *sợi quang*. Sợi quang dựa trên hiện tượng phản xạ



HÌNH 114 Chiết suất dương và chiết suất âm.

toàn phần; một tổng quan về các ứng dụng của chúng được cho trong Hình 113.

Trong thiên nhiên, sợi quang xuất hiện ít nhất trong 3 hệ thống. Trong mắt côn trùng, Trang 195 như mắt ruồi hay mắt ong mật, ánh sáng của mỗi điểm ảnh được vận chuyển dọc theo một cấu trúc hoạt động giống như một sợi quang hình nón. Trong động vật biển, như loài bọt biển thuỷ tinh *Euplectella aspergillum* và nhiều loài bọt biển khác, các sợi silic Xem 120 thật được sử dụng để giúp cho cấu trúc được ổn định và để vận chuyển tín hiệu sáng tới các bộ phận phát hiện ánh sáng. Sau cùng, mắt của động vật có xương sống, kể cả mắt người, chứa một số lớn các sợi quang trên võng mạc, để tránh các vấn đề về hình ảnh Xem 121 do các mạch máu nằm *trên* võng mạc gây ra. Cũng cần nói thêm là dư luận về lông của Xem 122 loài gấu địa cực hoạt động như các sợi quang đối với tia tử ngoại là *sai*.

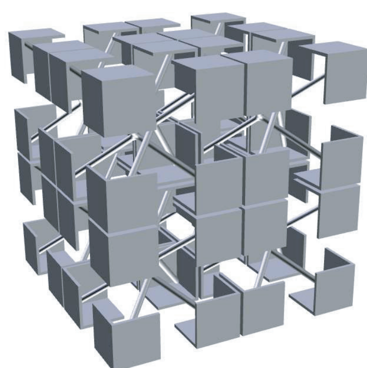
Trong các ứng dụng kỹ thuật, sợi quang chủ yếu dùng trong các hoạt động của mạng điện thoại và internet, trong việc phân bố tín hiệu trong phi cơ và xe hơi, trong việc vận chuyển ánh sáng laser cho mục đích y học, trong laser công suất lớn và trong nhiều lĩnh vực khác. Người ta đã sử dụng thành công các sợi thuỷ tinh rỗng trong việc truyền dẫn tia X trong các hệ thống chụp ảnh X quang.

200 năm trễ nải – chiết suất âm

Năm 1967 the Victor Veselago đã tiên đoán một điều kỳ lạ: chiết suất có thể *âm* mà không làm thay đổi các 'định luật' vật lý khác. Một chiết suất âm đồng nghĩa với việc chùm ánh sáng bị khúc xạ cùng phía với chùm tia tới, như ta thấy trong Hình 114. Kết quả là thấu kính lõm làm bằng vật liệu đó sẽ hội tụ các chùm tia song song và thấu kính lồi sẽ phân kỳ chúng, khác với vật liệu thông thường.

Năm 1996, John Pendry và cộng sự đã đề nghị phương pháp chế tạo các vật liệu như vậy. Năm 2000, khẳng định thực nghiệm đầu tiên đối với vi ba đã được công bố nhưng Xem 123 người ta không tin tưởng vào kết quả này. Năm 2002 tranh luận vẫn còn dai dẳng. Người ta cho rằng chiết suất âm hàm ý tốc độ lớn hơn tốc độ ánh sáng và đó chỉ có thể là vận tốc phase hay vận tốc nhóm chứ không thể là vận tốc năng lượng hay vận tốc tín hiệu. Vấn đề tranh cãi nảy sinh chỉ vì trong một số hệ vật lý góc khúc xạ đối với chuyển động phase và chuyển động của năng lượng khác nhau.

Trong lúc đó, sự tranh luận kết thúc. Người ta đã thực sự quan sát được chiết suất âm; Xem 124 các hệ tương ứng đã được tìm hiểu trên khắp thế giới. Vậy là có các hệ có chiết suất âm. Theo Veselago, vật liệu có tính chất này được gọi là vật liệu *quay trái*. Lý do là các vector



HÌNH 115 Một thí dụ về siêu vật liệu đẳng hướng (M. Zedler et al., © 2007 IEEE).

điện trường, từ trường và vector sóng tạo thành bộ 3 tay trái, khác với trường hợp chân không và vật liệu thông thường. Mọi vật liệu quay trái đều có độ từ thẩm μ_r và độ điện thẩm ε_r *âm*. Tuy vậy, trong thực tế, các tính chất này chỉ thể hiện trong một phạm vi nhỏ của tần số, thường là vi ba. Xem 125

Ngoài tính chất khúc xạ bất thường, vật liệu quay trái còn có vận tốc phase âm, đối nghịch với vận tốc năng lượng và tạo ra một hiệu ứng Doppler ngược. Những tính chất này đã được thực nghiệm khẳng định. Vật liệu quay trái cũng sẽ tạo ra một góc tù trong hiệu ứng Vavilov–Çerenkov, như vậy sẽ phát ra bức xạ Vavilov–Çerenkov ngược lại thay vì hướng về phía trước. Từ điều này, người ta đã tiên đoán *hiệu ứng Goos-Hänchen* và hiệu ứng Casimir đẩy. Tuy vậy, các dự đoán này chưa được kiểm chứng.

Việc khám phá vật liệu có chiết suất âm kỳ dị cho phép ta tạo ra các thấu kính hoàn toàn phẳng. Ngoài ra, vào năm 2000, John Pendry đã thu hút được sự chú ý của cả cộng đồng vật lý trên thế giới khi cho rằng các thấu kính làm bằng vật liệu như vậy, đặc biệt khi $n = -1$, sẽ *hoàn hảo* và sẽ phá tan giới hạn khúc xạ thông thường. Những thấu kính như vậy cũng sẽ ghi được hình ảnh của sóng *phù du* – tức là phần sóng giảm theo hàm số mũ – bằng cách khuếch đại chúng lên. Đã có những thí nghiệm chứng minh cho điều này. Việc nghiên cứu vẫn còn tiếp tục. Xem 126 Xem 125

Cho đến nay người ta chỉ tạo ra được vật liệu quay trái cho vi ba và sóng terahertz. Đã có những công bố trong phần ánh sáng khả kiến nhưng phải được xem xét một cách thận trọng. Cũng nên nói thêm rằng từ lâu người ta đã biết đến một loại hệ khúc xạ âm: cách tử nhiễu xạ. Ta có thể nói rằng vật liệu chiết suất âm là cách tử hoạt động theo mọi hướng trong không gian. Và thật vậy, mọi vật liệu quay trái đã có cho tới nay đều là cách sắp xếp tuần hoàn của các mạch điện từ.

Siêu vật liệu

Các hệ quay trái đơn giản nhất đã được tạo ra là siêu vật liệu. *Siêu vật liệu* đã được chế tạo thành những cấu trúc cách điện kim loại với tính tuần hoàn nhỏ hơn bước sóng của bức xạ mà ta nhắm tới khi thiết kế nó, sao cho cấu trúc này hoạt động giống như một vật liệu thuần nhất. Siêu vật liệu có độ điện thẩm và độ từ thẩm âm trong một khoảng bước sóng, thường là vi ba; một số siêu vật liệu có tính quay trái.

Xem 127 Hiện nay có 2 hướng tiếp cận cơ bản để chế tạo siêu vật liệu. Hướng 1 là chế tạo siêu vật liệu từ một dãy nhiều cấu trúc con có tính cộng hưởng như mạch LC hay các hình

Xem 128
cầu điện môi. Hướng 2 là chế tạo siêu vật liệu từ các đường truyền dẫn. Hướng sau thì có độ suy hao ít hơn và phổ rộng hơn; một thí dụ của loại này có trong Hình 115. Việc so sánh và tìm hiểu hai loại vẫn đang được nghiên cứu.

Phần lớn các siêu vật liệu đều được thiết kế cho vi ba hay sóng terahertz. Các ứng dụng kỹ thuật của siêu vật liệu thường dành cho việc thiết kế antenne; thí dụ như antenne lưỡng cực chỉ có thể làm bằng siêu vật liệu và cho phép ta chế tạo các antenne định hướng phẳng. Có lẽ cũng sẽ có các ứng dụng trong công nghệ sóng terahertz.

Những người làm việc ít nghiêm túc trong lĩnh vực này thường cho rằng có thể tạo ra *áo choàng vô hình* bằng siêu vật liệu. Trong khi đây là một tiêu ngữ thị trường hấp dẫn để thu hút ngân sách và được đưa lên báo chí, thì giấc mơ này không thể thành hiện thực, bắt nguồn từ sự suy hao trong vật liệu, sự tán sắc, sự khúc xạ, kích thước có hạn, yêu cầu về các cửa sổ quan sát bên ngoài từ bên trong, về tính bất khả của việc tạo ra sự vô hình cho mọi bước sóng. Cho đến nay mọi phi cơ được cho là tàng hình ngay cả với các tần số của các radar đặc biệt hoá ra sau cùng lại bị radar phát hiện. Các ngân sách quân sự thường rất xa rời thực tế.

Siêu vật liệu dành cho sóng âm và sóng có tần số thấp cũng đã được nghiên cứu. Những siêu vật liệu âm và cơ như vậy chưa có ứng dụng kỹ thuật.

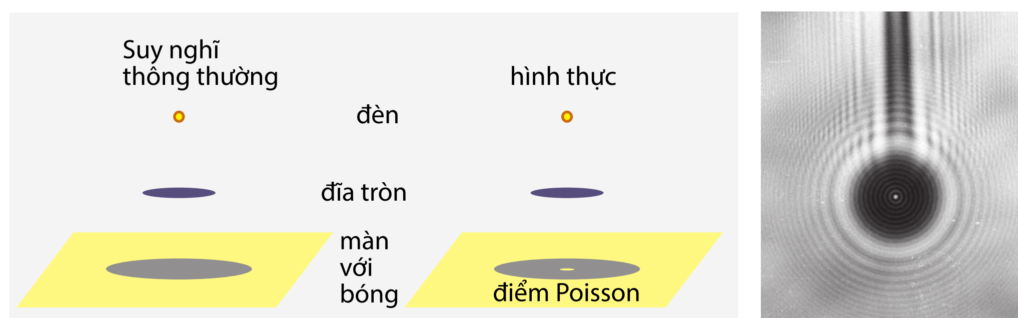
Ánh sáng đi vòng qua các góc – sự nhiễu xạ

Francesco Grimaldi gọi hiệu ứng ánh sáng đi vòng qua các góc là *sự nhiễu xạ* trong quyển
Xem 129
Physico-mathesis de lumine, xuất bản năm 1665. Grimaldi đã nghiên cứu về bóng rất cẩn thận. Ông đã khám phá những điều mà ta học ở trường trung học: ánh sáng đi vòng qua các góc giống như âm thanh và sự nhiễu xạ ánh sáng bắt nguồn từ bản chất sóng của ánh sáng. (Newton đã quan tâm đến điều này trong quang học sau khi đã đọc Grimaldi; Newton đã gạt bỏ một cách sai lầm kết luận của Grimaldi.)

Vì nhiễu xạ nên ta *không thể* tạo ra các chùm ánh sáng song song đúng nghĩa. Mỗi chùm laser đều phân kỳ một lượng tối thiểu gọi là *giới hạn nhiễu xạ*. Có lẽ bạn đã biết đến hệ thống Mắt mèo đắt nhất thế giới đặt trên Mặt trăng, nơi chúng đã được Lunokhod và
Xem 130
các phi hành gia Apollo để lại. Bạn có thể xác định chùm laser, với sự phân kỳ cực tiểu, sẽ mở rộng bao nhiêu khi nó đến Mặt trăng và trở về Trái đất, với giả sử rằng nó rộng
Câu đố 161 s
1 m khi rời khỏi Trái đất? Nó sẽ mở rộng bao nhiêu khi giá trị đó là 1 mm? Tóm lại, cả sự nhiễu xạ lẫn tính bất khả của việc tạo ra chùm tia không phân kỳ đã khẳng định ánh sáng là sóng.

Sự nhiễu xạ khiến cho ta không thể có hình ảnh sắc nét tức là có một *giới hạn phân giải*. Điều này đúng với mọi quang cụ kể cả mắt. Độ phân giải của mắt nằm trong khoảng từ 1 đến 2 phút, tức là từ 0.3 đến 0.6 mrad. Giới hạn này phần nào bắt nguồn từ kích thước hữu hạn của con ngươi. (Đó là lý do sự lác mắt giúp cho ta nhìn thấy nét hơn.) Trong thực tế độ phân giải của mắt thường bị giới hạn bởi sắc sai và hình dạng không hoàn hảo của giác mạc và thuỷ tinh thể. (Bạn có thể kiểm tra các con số và giải thích chúng
Câu đố 162 d
bằng các phép tính không? Có phải số tế bào hình que đã được điều chỉnh đúng với độ phân giải của chúng không?) Do đó có một khoảng cách cực đại để mắt người còn phân
Câu đố 163 s
biệt được hai đèn xe hơi. Bạn có thể ước tính khoảng cách này không?

Giới hạn phân giải cũng khiến cho ta không thể thấy Vạn lý trường thành ở bắc Trung quốc từ Mặt trăng, trái với điều người ta thường nói. Trong những phần chưa bị huỷ hoại, trường thành rộng khoảng 6m và ngay cả khi nó hắt một bóng dài lên mặt đất vào buổi



HÌNH 116 Các hình bóng chứng tỏ rằng ánh sáng là sóng: suy nghĩ bình thường (hình bên trái) bỏ qua khái niệm sóng và hình ảnh thực (hình giữa và bên phải) của các bóng của một vật tròn (photo © Christopher Jones).

sáng hay buổi chiều, góc nhìn của nó đều nhỏ hơn 1s nên mắt người hoàn toàn không nhìn thấy nó. Đúng ra có 3 phi hành gia khác nhau đã du hành lên Mặt trăng, sau khi nghiên cứu kỹ lưỡng, đã khẳng định rằng khẳng định trên là vô lý. Câu chuyện này là một trong các truyền thuyết thành thị lâu đời nhất. (Có thể nhìn thấy trường thành từ phi thuyền không gian không?) Các vật thể nhân tạo lớn nhất là các dải đất lấn biển ở Hoà Lan; ta có thể nhìn thấy chúng từ không gian. Ta cũng có thể nhìn thấy các thành phố lớn cũng như các xa lộ ở Bỉ vào ban đêm; ánh đèn rực rỡ khiến chúng nổi rõ trên nền đen của Trái đất.

Xem 131

Câu đố 164 ny

Sự nhiễu xạ có hệ quả là ở tâm của một cái bóng của một quả banh tròn, khác với mong đợi, có một điểm sáng như ta thấy trong Hình 116. ‘Lỗ’ này đã được Denis Poisson (b. 1781 Pithiviers, d. 1840 Paris) tiên đoán vào năm 1819 để chứng tỏ rằng thuyết sóng ánh sáng dẫn tới các hệ quả vô lý. Ông đã đọc phần mô tả hiện tượng nhiễu xạ bằng toán học của Augustin Fresnel dựa trên nền tảng của lý thuyết sóng về ánh sáng.

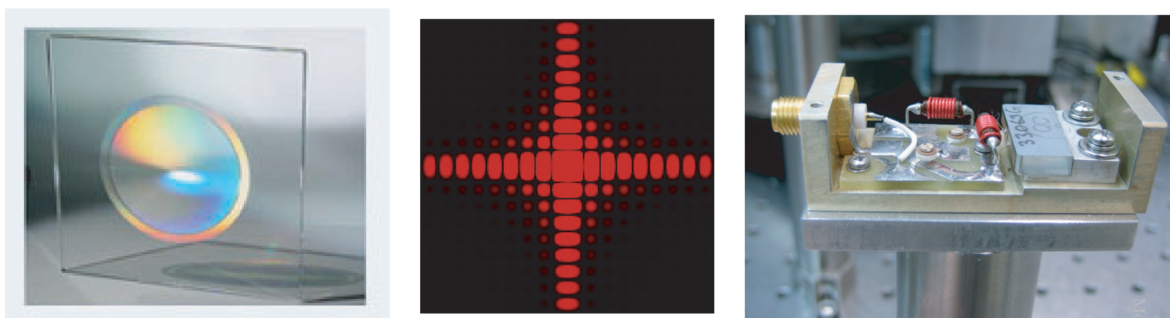
* Nhưng ngay sau đó, François Arago đã thực sự quan sát được điểm Poisson, nhưng khác với Poisson, ông đã làm cho Fresnel trở nên nổi tiếng và đẩy nhanh sự công nhận tính chất sóng của ánh sáng.

Sự nhiễu xạ cũng có thể được sử dụng trong các ứng dụng đặc biệt để tạo ra hình ảnh. Một vài thí dụ về ứng dụng của sự nhiễu xạ được trình bày trong Hình 117. Trong số này, bộ biến điệu âm-quang được sử dụng trong nhiều hệ laser. Toàn đồ sẽ được bàn kỹ sau đây, có thể được xem như là một loại hình ảnh nhiễu xạ đặc biệt.

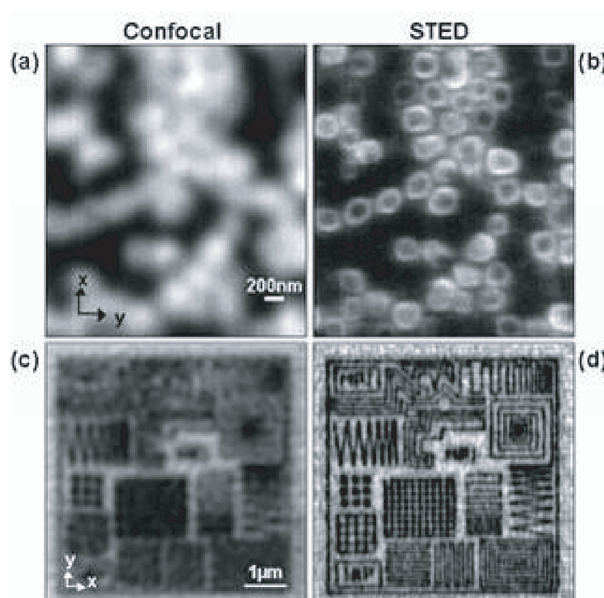
Trang 175

Tóm lại, nhiễu xạ đôi khi được sử dụng để tạo ra hay làm thay đổi hình ảnh; nhưng điều chủ yếu là trong mỗi hình, nhiễu xạ xác định độ phân giải tức là chất lượng hình ảnh.

* Augustin Jean Fresnel (b. 1788 Broglie, d. 1827 Ville d'Avray), kỹ sư và vật lý gia tài tử. Chữ ‘s’ trong tên của ông là câm. Năm 1818, ông công bố bài báo vĩ đại về lý thuyết sóng mà nhờ nó ông đã nhận được giải thưởng của Viện hàn lâm khoa học Pháp năm 1819. Để cải thiện tài chính, ông làm việc trong ban quản lý hải đăng, nhờ đó ông đã phát triển được các thấu kính Fresnel nổi tiếng. Ông qua đời sớm vì kiệt sức do làm việc quá nhiều.



HÌNH 117 Các thí dụ về quang học nhiễu xạ: một thấu kính phi cầu nhiễu xạ, kết quả của một chùm laser đỏ đi qua một miếng nhựa có một khe chữ thập và bộ biến điệu âm-quang được sử dụng để biến điệu chùm laser truyền qua các tinh thể đã có sẵn (© Jenoptik, Wikimedia, Jeff Sherman).



HÌNH 118 Kỹ thuật hiển vi quang học có bước sóng nhỏ sử dụng sự giảm thiểu phát xạ kích động (hình bên phải) so với kỹ thuật hiển vi đồng tiêu thông thường (hình bên trái) (© MPI für biophysikalische Chemie/Stefan Hell).

Vượt qua giới hạn nhiễu xạ

Trang 168

Trong mọi phương pháp chụp ảnh, có cuộc đua tranh để có hình ảnh có độ phân giải cao nhất. Người ta chưa có các thấu kính hoàn hảo đã đề cập ở trên cho ánh sáng khả kiến. Tuy vậy, các kỹ thuật tạo ra hình ảnh có độ phân giải *nhỏ hơn* bước sóng ánh sáng đã tạo ra những bước tiến mạnh mẽ trong những năm vừa qua.

Ngày nay các hình ảnh lạ thường có thể được tạo ra bằng kính hiển vi quang học thương mại có điều chỉnh. Giới hạn nhiễu xạ thông thường của kính hiển vi là

$$d \geqslant \frac{\lambda}{2n \sin\alpha}, \tag{79}$$

trong đó λ là bước sóng, n là chiết suất và α là góc quan sát. Có 4 cách chính để tránh

giới hạn này. Cách 1 là hoạt động trong 'trường gần', nơi không có giới hạn nhiễu xạ. Cách 2 là quan sát và đo các hiệu ứng nhiễu xạ và sử dụng máy tính để làm giảm hiệu ứng thông qua việc xử lý ảnh. Cách 3 là sử dụng các hiệu ứng tạo ra sự phát xạ ánh sáng từ một mẫu vật nhỏ hơn bước sóng ánh sáng. Cách thứ 4 là sử dụng độ phân giải theo thời gian.

Kỹ thuật trường gần nổi tiếng là kính hiển vi quang học quét trường gần. Ánh sáng được chiếu xuyên qua một sợi thuỷ tinh hình nêm có một lỗ trong suốt nhỏ ở đầu, có thể nhỏ tới 15 nm; đầu dò được quét trên mẫu vật sao cho hình ảnh được ghi lại từng điểm một. Kính hiển vi này đạt được độ phân giải cao nhất trong tất cả kính hiển vi quang học. Tuy vậy, trong thực tế khó thu được lượng ánh sáng có ích đi qua lỗ nhỏ ở đầu quét.

Nhiều kỹ thuật có máy tính trợ giúp có thể thu được hình ảnh có độ phân giải nhỏ hơn giới hạn nhiễu xạ. Loại kính đơn giản có kỹ thuật giải chập này đã có mặt trên thị trường.

Một trong những kỹ thuật đầu tiên vượt qua giới hạn nhiễu xạ khá nhiều bằng cách sử dụng kính hiển vi thông thường là *kỹ thuật hiển vi giảm thiểu phát xạ kích động*. Bằng cách sử dụng một hệ chiếu sáng thông minh dựa trên 2 chùm laser, kỹ thuật này cho phép kích thước điểm gần như bằng với kích thước phân tử. Kỹ thuật mới này, một loại kỹ thuật hiển vi huỳnh quang đặc biệt do Stefan Hell phát triển, sử dụng một chùm laser chiếu sáng với một điểm hình tròn và chùm laser thứ 2 hình xuyến. Nhờ sự kết hợp này giới hạn nhiễu xạ đã được điều chỉnh thành

$$d \geqslant \frac{\lambda}{2n \ \sin\alpha \ \sqrt{I/I_{\text{sat}}}} , \qquad (80)$$

sao cho một cường độ bão hoà được lựa chọn một cách thích hợp I_{sat} sẽ làm giảm giới hạn nhiễu xạ tới giá trị nhỏ bất kỳ. Cho tới nay, người ta đã tạo được kính hiển vi quang học có độ phân giải 16 nm. Một hình ảnh thí dụ đã được cho trong Hình 118. Kỹ thuật này và các kỹ thuật tương tự đã kích động lĩnh vực hiển vi học; bây giờ chúng đã trở nên quen thuộc trong Khoa học vật liệu, Y học và Sinh học. Năm 2014, Stefan Hell đã nhận được giải Nobel hoá học cho công trình này. Xem 132

Việc nghiên cứu các kỹ thuật hiển vi mới vẫn còn tiếp diễn với nhiều nỗ lực chuyển độ phân giải theo thời gian thành độ phân giải không gian. Một lĩnh vực nghiên cứu quan trọng khác là phát triển kính hiển vi có thể gắn trong máy nội soi để bác sĩ có thể quan sát cơ thể mà không cần đến đại phẫu. Kỹ thuật hiển vi vẫn còn là một lĩnh vực sôi động.

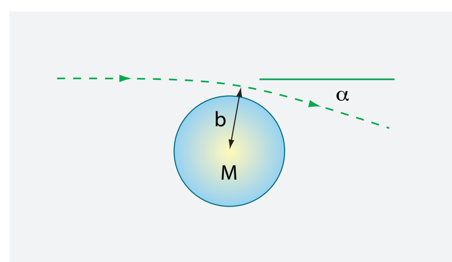
Các phương thức uốn cong ánh sáng khác

Quang công nghệ có thể định nghĩa là khoa học về sự uốn cong ánh sáng. Sự phản xạ, khúc xạ và nhiễu xạ là các phương pháp quan trọng nhất để đạt được mục đích này. Nhưng việc tìm hiểu câu hỏi tổng quát hơn 'Có cách khác để uốn cong chùm tia sáng không?' cũng là điều hợp lý.

Quyển I, trang 201
Quyển II, trang 165
Có một cách là lực hấp dẫn, như ta đã bàn trong phần nói về Hấp dẫn vạn vật và Thuyết tương đối tổng quát. Vì tác dụng của lực hấp dẫn yếu nên chỉ đáng kể trong lĩnh vực thiên văn. Thấu kính hấp dẫn được sử dụng trong nhiều dự án khác nhau để đo kích thước, khối lượng và khoảng cách của các thiên hà và nhóm thiên hà. Trước kia, các hiệu



HÌNH 119 Trong một số vật liệu, chùm ánh sáng có thể xoắn với chùm ánh sáng khác.



HÌNH 120 Khối lượng uốn cong ánh sáng.

ứng hấp dẫn giữa 2 chùm ánh sáng thường được bỏ qua, cũng đã được bàn đến.

Quyển II, trang 265

Như vậy trong phòng thí nghiệm không có phương pháp để uốn cong tia sáng khác với sự phản xạ, khúc xạ và nhiễu xạ. Mọi phương pháp đã biết đều là các trường hợp đặc biệt của 3 phương pháp này.

Trang 171

Có một cách quan trọng trong vật liệu có thể được sử dụng để uốn cong ánh sáng là *Bộ làm lệch âm-quang*. Chúng hoạt động giống như bộ biến điệu âm-quang, tức là, một sóng âm đi xuyên qua một tinh thể tạo thành một cách tử nhiễu xạ, được sử dụng để làm lệch chùm laser. Như vậy bộ biến điệu sử dụng sự nhiễu xạ để uốn cong ánh sáng.

Xem 133

Điện từ trường thường không ảnh hưởng trực tiếp đến ánh sáng vì ánh sáng không có điện tích và vì các phương trình Maxwell là phương trình tuyến tính. Nhưng trong một số vật liệu, các phương trình hiệu dụng là phi tuyến và sự việc sẽ thay đổi. Thí dụ như trong vật liệu quang khúc xạ, hai chùm ánh sáng gần nhau có thể *quấn* lấy nhau như đã được Segev và cộng sự trình bày năm 1997. Điều này được minh hoạ trong Hình 119. Hiệu ứng này là một dạng khúc xạ. Còn một cách khác để làm lệch ánh sáng là sử dụng hiện tượng phân cực. Nhiều vật liệu như tinh thể lỏng hay vật liệu điện-quang, uốn cong chùm ánh sáng theo độ phân cực của chúng. Những vật liệu này dùng để lái hay chặn các chùm laser. Bộ biến điệu tinh thể lỏng và điện-quang dựa trên hiện tượng nhiễu xạ.

Quyển IV, trang 71

Ánh sáng tán xạ cũng bị đổi hướng. Người ta vẫn còn tranh luận về việc gọi quá trình này là một thí dụ về sự uốn cong ánh sáng có thích hợp hay không. Dù sai thì sự tán xạ cũng quan trọng: không có nó ta không thể thấy mọi vật quanh ta. Nói cho cùng thì thị giác là sự phát hiện ánh sáng tán xạ và dĩ nhiên, tán xạ là nhiễu xạ.

Câu hỏi kế tiếp là: có phương pháp để *di chuyển* chùm ánh sáng không? Dù photon có khối lượng = 0 và electron có khối lượng khác 0, ta có thể quét chùm electron với tần số 1 GHz trong khi quét chùm ánh sáng mạnh đối với tần số 10 kHz rất khó.

Trang 146

Di chuyển chùm ánh sáng – đặc biệt là *chùm laser* – rất quan trọng: giải pháp dựa trên kỹ nghệ cao cấp. Việc di chuyển chùm laser được sử dụng trong việc chữa trị cho mắt bằng laser, khắc laser, trình diễn laser, cắt bằng laser, đọc mã vạch trong siêu thị, tạo nguyên mẫu, dung kết các vật 3 chiều bằng laser, đo khoảng cách, lidar, trong kỹ thuật hiển vi và trong các quá trình công nghiệp sản xuất mạch in điện tử, sản phẩm bán dẫn, màn hình mobile phone. Phần lớn các máy scan laser đều dựa trên các gương, lăng kính hay thấu kính chuyển động, mặc dù máy scan âm-quang điện-quang đã đạt được tốc độ quét vài MHz đối với các chùm công suất cao và cũng được sử dụng trong các ứng dụng đặc biệt. Nhiều ứng dụng mong chờ các phát minh cho tốc độ quét laser nhanh hơn.



HÌNH 121 Ba loại ảnh X quang của ngón cái: hình ảnh thông thường (bên trái) và 2 hình chụp bằng các hiệu ứng giao thoa (© Momose Atsushi).

Tóm lại, di chuyển chùm ánh sáng yêu cầu di chuyển vật chất, thường là dưới dạng gương hay thấu kính. Ánh sáng du hành theo đường thẳng chỉ khi nó ở *xa vật chất*. Trong đời sống thông thường 'xa' chỉ đơn giản là lớn hơn vài mm vì tác dụng điện từ có thể bỏ qua ở khoảng cách này, chủ yếu là do tốc độ siêu thanh của ánh sáng. Tuy vậy, như ta đã thấy, trong một số trường hợp liên quan tới lực hấp dẫn, ta cần ở khoảng cách xa vật chất hơn để bảo đảm chuyển động của ánh sáng không bị nhiễu loạn.

Sử dụng sự giao thoa để chụp ảnh

Trang 105 Như ta đã thấy trong trường hợp đàn guitar, hình ảnh tạo bằng sự giao thoa có thể hữu dụng. Sự giao thoa chủ yếu được sử dụng để đo độ biến dạng và chuyển động của vật thể.

Giao thoa còn có thể được sử dụng để làm tăng chất lượng ảnh. Hình 121 cho ta thấy sự cải thiện khi ta sử dụng một giao thoa kế đặc biệt là *giao thoa kế Talbot-Lau*, cùng với Xem 134 tia X. Đặc biệt, kỹ thuật này làm tăng độ nhạy của tia X đối với mô mềm.

Giao thoa cũng là nền tảng của phép toàn ký, một kỹ thuật chế tạo ảnh 3 chiều quan trọng.

Người ta đã tạo ra toàn đồ và các ảnh 3 chiều như thế nào?

Cảm giác về ánh sáng cho chúng ta hình ảnh của thế giới quanh ta bao gồm ấn tượng về chiều sâu. Ta thường cảm nhận môi trường có *3* chiều. Thị giác nổi, sự cảm nhận về chiều sâu, có được nhờ 3 hiệu ứng chính. Một, hai mắt thấy 2 *ảnh khác nhau*. Hai, ảnh tạo trong mỗi mắt *phụ thuộc vị trí*: khi ta quay đầu, ta thấy hiệu ứng thị sai giữa các vật ở gần và ở xa ta. Ba, vì khoảng cách khác nhau, mắt chúng ta phải *điều tiết* và *thay đổi độ hội tụ* nhiều hay ít, tuỳ theo vị trí của vật.

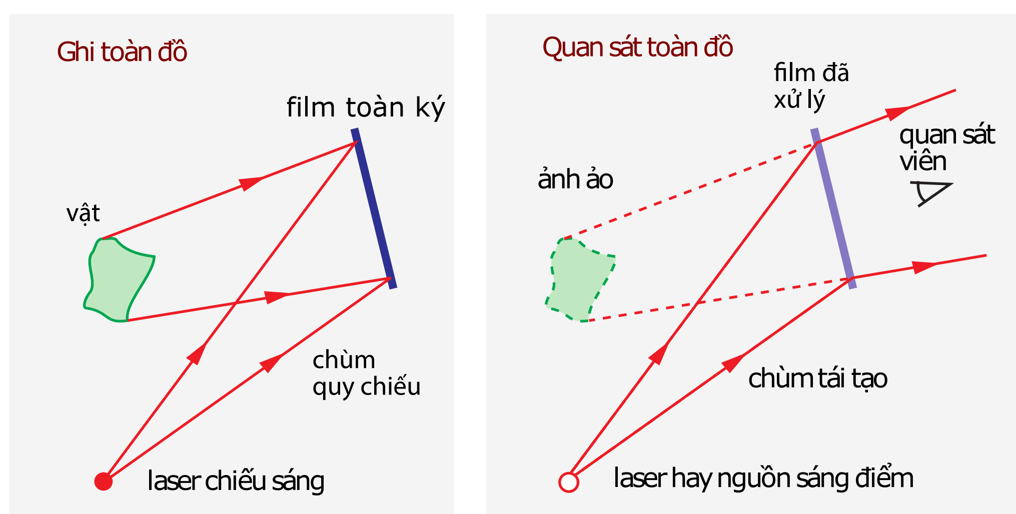
Một ảnh in trên giấy thông thường sẽ không bắt được một hiệu ứng 3 chiều nào: nó tương đương với ảnh do một mắt thu nhận được, từ một điểm đặc biệt và tại một tiêu Câu đố 165 e điểm đặc biệt. Đúng ra máy ảnh chủ yếu là bản sao của một mắt tĩnh và có tiêu cự không đổi.

Một hệ muốn tạo ra sự nhận thức về chiều sâu cho quan sát viên phải có ít nhất một trong 3 hiệu ứng 3 chiều trên. Đúng ra hiệu ứng thứ 3, sự thay đổi tiêu điểm theo khoảng cách, là hiệu ứng yếu nhất, vì vậy đa số các hệ đều tập trung vào hai hiệu ứng kia, hình ảnh cho 2 mắt khác nhau và một ảnh phụ thuộc vào vị trí của đầu.

Nhiếp ảnh nổi và film nổi sử dụng rộng rãi hiệu ứng 1, gởi các ảnh khác nhau đến 2 mắt, bằng những kỹ thuật khác nhau. Một thủ thuật phổ biến là sử dụng kính màu. Bưu ảnh và màn hình máy tính được phủ các thấu kính hình trụ mỏng cũng có thể gởi



HÌNH 122 Toàn đồ có chất lượng cao nhất thế giới hiện nay đã được Yves Gentet chế tác mà ta có thể tìm thấy trên website www.ultimate-holography.com. Chúng là toàn đồ Denisjuk. Người xem bị đánh lừa là có bướm thật ở sau tấm gương. (© Yves Gentet).



HÌNH 123 Quá trình ghi (hình bên trái) và quan sát (hình bên phải) của một toàn đồ đơn sắc (trong tường hợp này là truyền qua). Toàn đồ màu thực sử dụng 3 laser, đỏ, lục và lam.

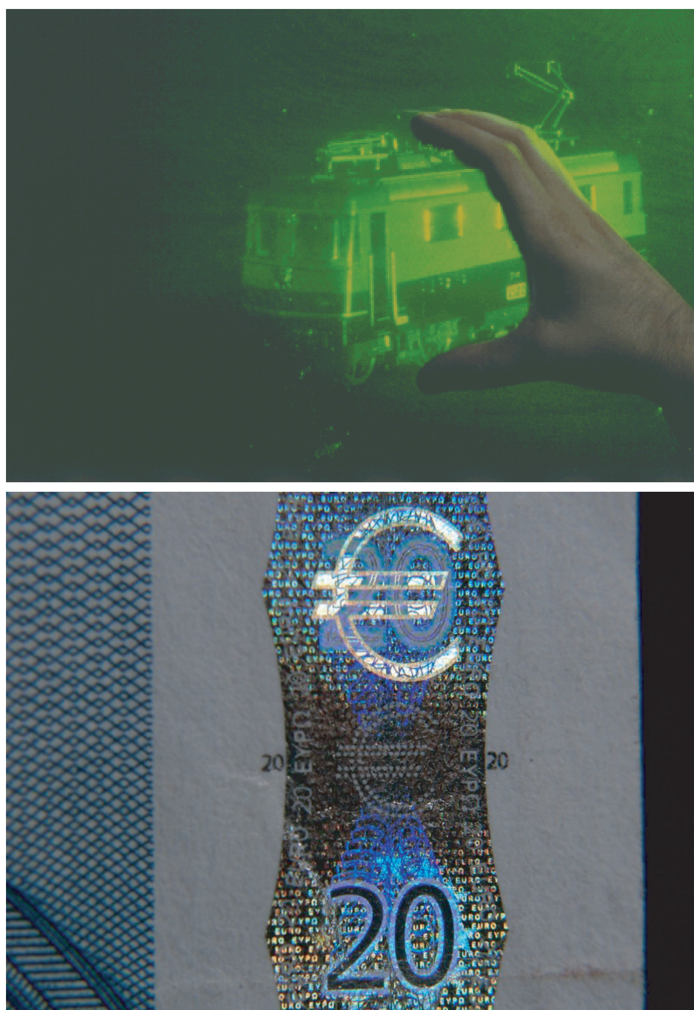
2 hình khác nhau tới 2 mắt nên cũng tạo ra được ấn tượng về chiều sâu. Ta cũng đã biết rằng nếu vật ở xa thì 2 ảnh của 2 mắt không còn khác nhau nữa. Khoảng cách giới hạn này được gọi là *bán kính nhìn nổi* và nằm trong khoảng từ 200 m đến 500 m.

Nhưng rõ ràng hiệu ứng chiều sâu ngoạn mục nhất là hiệu ứng thứ 2, có được khi ta tạo ra các ảnh phụ thuộc vào vị trí của đầu. *Các hệ thực tại ảo* hiện đại tạo ra film bằng cách sử dụng nhiều máy ảnh đặt ở nhiều hướng khác nhau. Việc sử dụng có khi tới 12 máy ảnh, với 2 máy hướng theo trục của 2 mắt. Bằng cách này ta cũng tạo được hiệu ứng chiều sâu thứ nhất. Bằng cách sử dụng một kính đeo mắt có các bộ cảm biến hướng gắn vào đầu, hệ thống này nội suy theo film đã chụp, hướng của đầu người quan sát thực hay tạo ra một film điện toán phụ thuộc vị trí của đầu. Những hệ thực tại ảo như vậy cho phép ta sống với một cảm giác diệu kỳ như được ngồi trên lưng một con đại bàng bay xuyên qua các rặng núi hay bơi giữa các con cá mập dưới biển sâu.

Cho đến nay chỉ có một phương thức đạt được cả 3 hiệu ứng chiều sâu là *Phép toàn ký*. Ảnh kết quả được gọi là *toàn đồ*. Một thí dụ về toàn đồ được trình bày trong Hình 122. Mặc dù toàn đồ chỉ là một tấm film mỏng hơn 1mm, quan sát viên vẫn có ấn tượng là có các vật ở đằng sau nó. Tuỳ theo các chi tiết hình học, các vật cũng tạo ra cảm giác nổi trên film.

Một toàn đồ tái tạo mọi dữ liệu được nhìn thấy từ mọi điểm của một vùng trong không gian. *Toàn đồ* là một tập hợp các hình ảnh phụ thuộc vị trí của vật được lưu trữ. Đầu tiên, toàn đồ được ghi lại bằng cách lưu trữ biên độ *và phase* của ánh sáng do vật phát xạ hay tán xạ, như ta thấy trong Hình 123 và Hình 125. Để lưu trữ toàn bộ trường của ánh sáng, vật được chiếu sáng bằng ánh sáng *điều hợp*,* như ánh sáng của laser và hình giao thoa giữa ánh sáng chiếu sáng và ánh sáng tán xạ được lưu lại; thường nó được

* Nói chung, 2 chùm ánh sáng hay 2 phần của một chùm ánh sáng – hay sóng khác – được gọi là *điều hợp* khi chúng có tần số và độ lệch phase không đổi. Trong thực tế, do các nhiễu loạn có ở khắp nơi, điều này chỉ xảy ra trong một thể tích hữu hạn, được gọi là *thể tích điều hợp*. Sự giao thoa đòi hỏi phải có sự điều hợp.



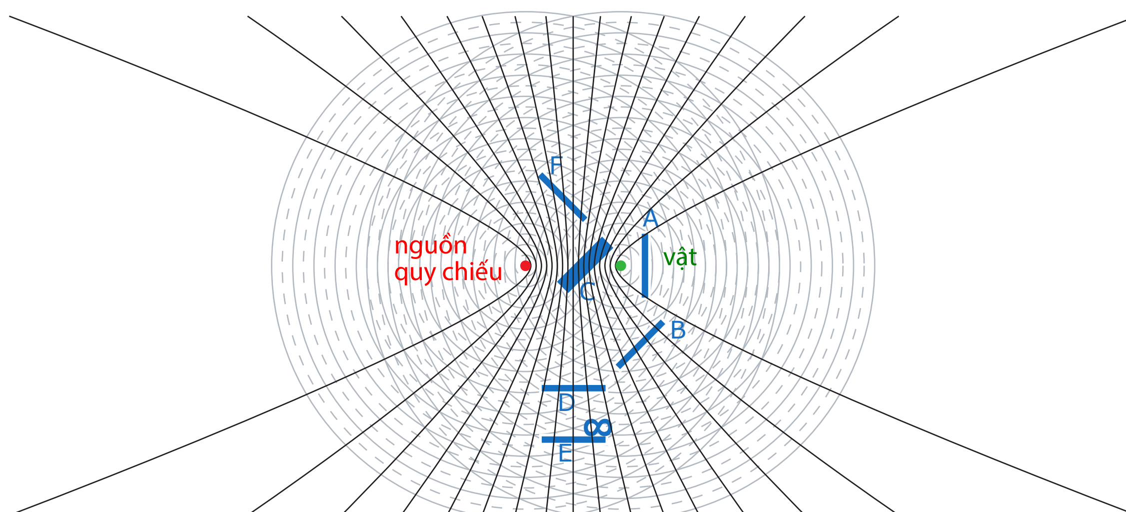
HÌNH 124 Một toàn đồ của xe lửa và toàn đồ phản xạ của của một tờ 20 Euro (© Anonymous, Hans-Ulrich Pötsch).

giữ trong film ảnh. Cách tiến hành được biểu diễn trong Hình 123. Bước kế tiếp là chiếu film đã được xử lý bằng ánh sáng điều hợp – từ một laser hay một đèn có kích thước nhỏ như một nguồn điểm – thì ta sẽ thấy được một ảnh 3 chiều đầy đủ. Đặc biệt, bắt nguồn từ sự tái tạo trạng thái, hình ảnh trông như trôi nổi trong không gian.

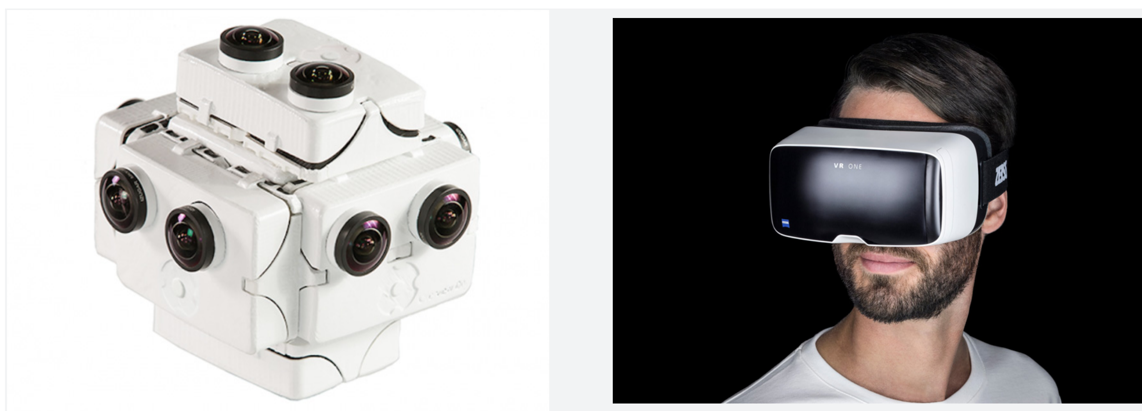
Một vài thí dụ về toàn đồ được trình bày trong Hình 124. Toàn đồ đã được vật lý gia lừng danh Dennis Gabor (b. 1900 Budapest, d. 1979 London) phát triển vào năm 1947. Ông đã nhận được giải Nobel vật lý năm 1971 nhờ công trình này. Vẻ đẹp của phát minh của Gabor chủ yếu nằm ở phần lý thuyết vì laser chưa có vào thời đó.

Toàn đồ có thể thuộc loại *truyền qua*, như ta thấy trong các viện bảo tàng, hay *phản xạ*, như ta đã thấy trên thẻ tín dụng hoặc tiền giấy. Toàn đồ có thể là toàn đồ laser hay ánh sáng trắng. Phần lớn toàn đồ màu thường hiển thị không đúng màu như vật thể ban đầu. Ta có thể tạo ra được toàn đồ màu thực bằng 3 laser khác nhau nhưng rất đắt.

Toàn đồ dựa trên sự giao thoa. Ảnh giao thoa cũng có thể được sử dụng theo cách



HÌNH 125 Các loại toàn đồ khác nhau sinh ra từ các vị trí tương đối khác nhau của vật (màu lục), film toàn ký (xanh) và chùm quy chiếu (đỏ). Vị trí A biểu diễn một toàn đồ mỏng, truyền qua cùng hướng do Gabor đề xuất, B biểu diễn toàn đồ mỏng, truyền qua lệch hướng theo Leith và Upatnieks, C biểu diễn một toàn đồ dày, phản xạ hay toàn đồ ánh sáng trắng theo Denisyuk, D biểu diễn một toàn đồ Fourier ở khoảng cách lớn, E biểu diễn toàn đồ Fraunhofer ở xa vô hạn và F biểu diễn một toàn đồ 2 chiều với đoàn sóng đảo ngược (© DGH).

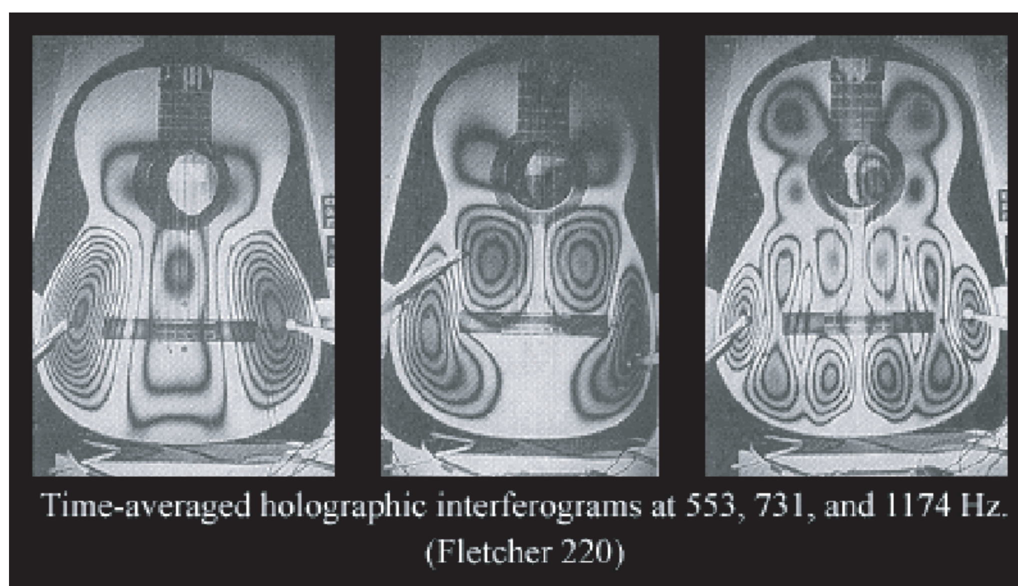


HÌNH 126 Một máy ảnh thực tại ảo được sử dụng trong trạm không gian quốc tế ISS và bộ thiết bị để xem video (© SpaceVR and Zeiss)

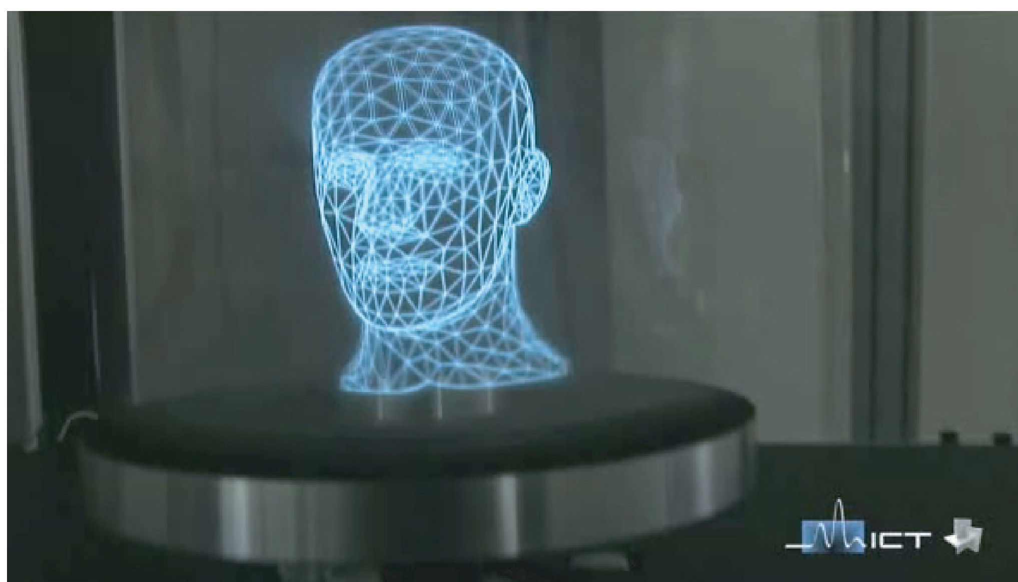
khác. Bằng cách chiếu sáng vào 2 thời điểm khác nhau người ta có thể tạo được *giao thoa đồ*, cho phép ta hiển thị và đo được độ biến dạng của một vật. Giao thoa đồ được sử dụng để quan sát, đo đạc độ biến dạng, sự dao động hay các hiệu ứng nhiệt độ.

Ta có thể tạo các toàn đồ *chuyển động* không? Được; tuy vậy, người ta vẫn còn đang nghiên cứu các thiết bị kỹ thuật để thực hiện điều này. Hiện nay chỉ vài phòng thí nghiệm là có các hệ như vậy (thí dụ như www.optics.arizona.edu/pstg/index.html) và chúng rất đắt tiền. Cũng cần hỏi thêm là bạn có thể mô tả cách thức phân biệt một toàn đồ chuyển động chất lượng cao với một vật thực mà không cần chạm vào nó không?

Câu đố 166 s



HÌNH 127 Giao thoa đồ của một cây guitar (© Wikimedia).



HÌNH 128 Một hệ tạo ảnh 3 chiều dựa trên gương quay, của Đại học nam California, ở gl.ict.usc.edu/Research/3DDisplay (© USC Stevens Institute for Innovation).

Vào thời kỳ đầu của công nghiệp máy tính, mục đích của các nhà sản xuất màn hình là tạo ra sự hiển thị *như ảnh thực*, tức là không thể phân biệt với ảnh chụp. Mục đích này đã thành hiện thực. Năm 2012, các nhà dự đoán công nghệ cho rằng mục tiêu kế tiếp sẽ là tạo ra sự hiển thị *thực như nhìn qua cửa sổ*, tức là không khác cảnh nhìn qua cửa sổ. Điều này bao gồm tính 3 chiều của mọi vật trong màn hình hiển thị. Người ta có thể làm được điều này không?

Câu đố 167 d



HÌNH 129 Một mảnh Lego được hiển thị bằng 2 gương parabol chồng lên nhau, gương trên có một lỗ thủng. Hình bên phải cho thấy cả mảnh ghép nằm dưới đáy và ảnh nổi của nó. (© Christoph Schiller).

Không phải mọi ảnh 3 chiều đều là toàn đồ. Bằng cách sử dụng màn hình hay gương quay, người ta có thể tạo ra các ảnh 3 chiều lộng lẫy. Một thí dụ ấn tượng chứng minh cho công nghệ như vậy được trình bày trong Hình 128. Bạn có biết tại sao chúng không thành công trong thương mại không? Câu đố 168 e

Một món đồ chơi nổi tiếng tạo ra được ảnh nổi bằng 2 gương parabol chồng lên nhau được trình bày trong Hình 129. Đôi khi nó được gọi là 'mirascope' nhưng ta không nên sử dụng từ kỳ quái trộn lẫn tiếng latin và Hy Lạp này, cũng như những từ kỳ quái khác, kể cả 'automobile'. Bạn có thể tìm ra nguyên lý tạo ra hiệu ứng thú vị của các gương parabol này không? Câu đố 169 e

Hình ảnh tạo ra bằng phương pháp quét

Khi hình ảnh được tạo ra bằng thấu kính hay gương, mọi điểm ảnh đều được tạo ra cùng lúc. Trái lại, trong kỹ thuật quét, hình ảnh được tạo ra một cách tuần tự, điểm ảnh này sau điểm ảnh kia. Mặc dù kỹ thuật quét luôn chậm hơn kỹ thuật song song nhưng nó vẫn có lợi điểm riêng: quét cho phép ta tạo ảnh 3 chiều và đạt được độ phân giải cao hơn giới hạn nhiễu xạ. Kỹ thuật quét chủ yếu được sử dụng trong kỹ thuật hiển vi.

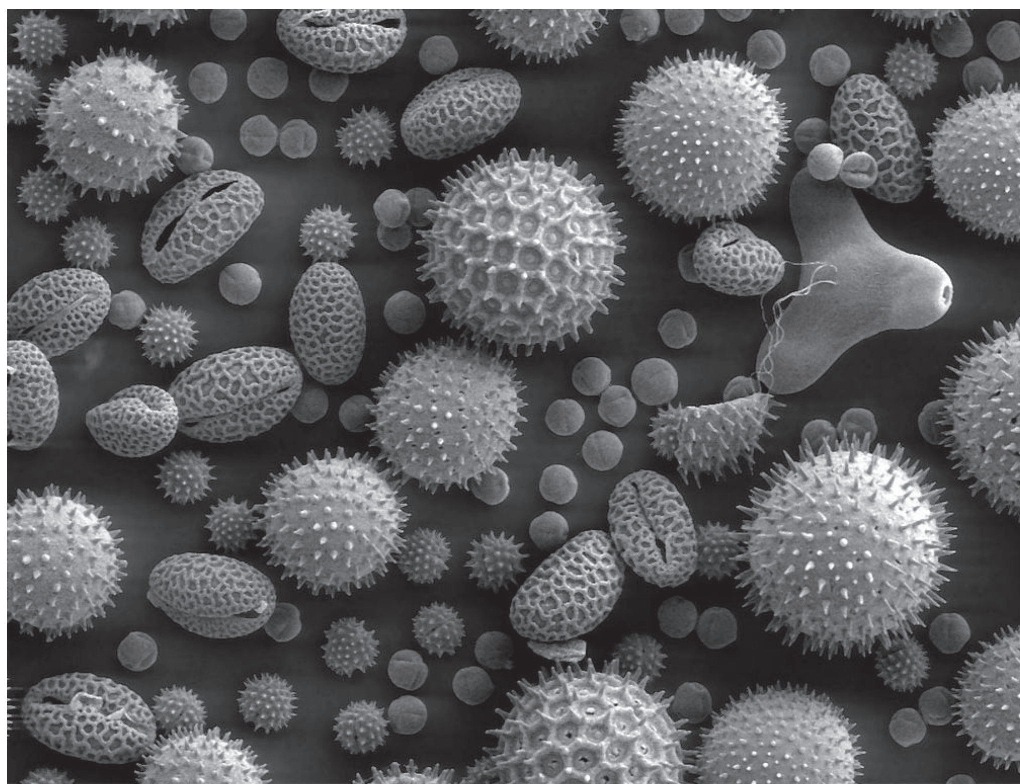
Kỹ thuật quét nổi tiếng nhất không sử dụng tia sáng mà sử dụng tia electron: *kính hiển vi điện tử quét*. Như ta đã thấy trong Hình 131, những kính hiển vi như vậy có thể tạo ra những hình ảnh tuyệt vời. Tuy vậy, các hình này chỉ có 2 chiều. Trong các trường hợp đặc biệt, người ta có thể sử dụng *kính hiển vi ion*. Mọi kính hiển vi sử dụng các hạt mang điện đều có 2 loại quét và truyền qua.

Một thí dụ điển hình về kỹ thuật chụp ảnh 3 chiều hiện đại dựa trên ánh sáng là *kính hiển vi quét laser đồng tiêu*. Kỹ thuật này dựa trên việc khử mọi tín hiệu sáng bên ngoài tiêu điểm của kính hiển vi. Nó cho phép chụp ảnh của một mẫu vật trong suốt nhiều hay ít ở một độ sâu nhất định dưới bề mặt của vật, với độ sâu tối đa khoảng 500 µm. Hiện nay đã có nhiều nhà sản xuất kính hiển vi đồng tiêu.

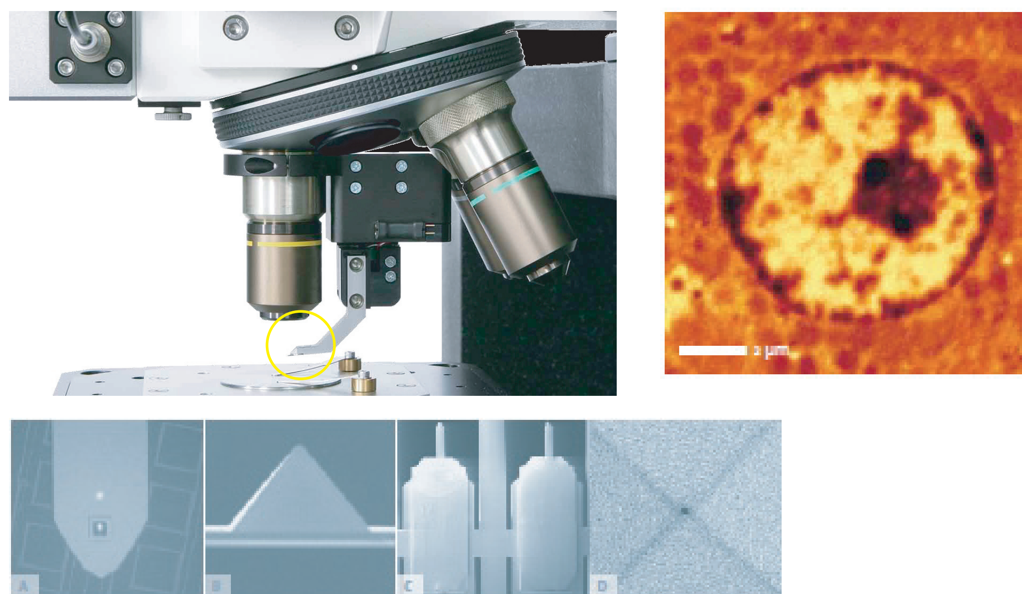
Một thí dụ về kỹ thuật cho độ phân giải cao là *kính hiển vi đa photon*. Trong kỹ thuật này, mẫu vật sẽ được làm phát huỳnh quang bằng cách sử dụng 2 hay 3 photon có bước sóng dài hơn. Giống như mọi kỹ thuật huỳnh quang, hình ảnh được tạo ra từ huỳnh

HÌNH 130 Hai kỹ thuật quét tạo ảnh: kỹ thuật hiển vi laser quét đồng tiêu và kỹ thuật hiển vi đa photon (© Nikon, Carl Zeiss).





HÌNH 131 Một kính hiển vi điện tử quét hiện đại và hình ảnh của phấn hoa – kích thước trường khoảng 0.3 mm – cho ta thấy độ phân giải và độ sâu của trường có thể đạt được bằng kỹ thuật này (© Zeiss, Wikimedia).



HÌNH 132 Một kính hiển vi quang học quét trường gần (SNOM) kết hợp với một kính hiển vi quang học, chi tiết của đầu quét và một hình ảnh của nhân tế bào gan chụp bằng kính hiển vi này (© WITec).

quang do các hoá chất được tìm thấy trong sinh vật phát ra. Khác với kính hiển vi huỳnh quang thông thường, phép chụp ảnh đa photon dựa trên một hiệu ứng phi tuyến nên vùng phát xạ rất hẹp và độ phân giải rất cao.

Nói về độ phân giải quang học cao nhất thì *kính hiển vi quang học quét trường gần* là vô địch. Thông thường, một đầu dò quang tí hon được quét ngang qua mặt mẫu vật, như ta thấy trong Hình 132. Bằng cách hoạt động trong trường gần, ta tránh được giới hạn nhiễu xạ và có thể đạt được độ phân giải trong phạm vi nm.

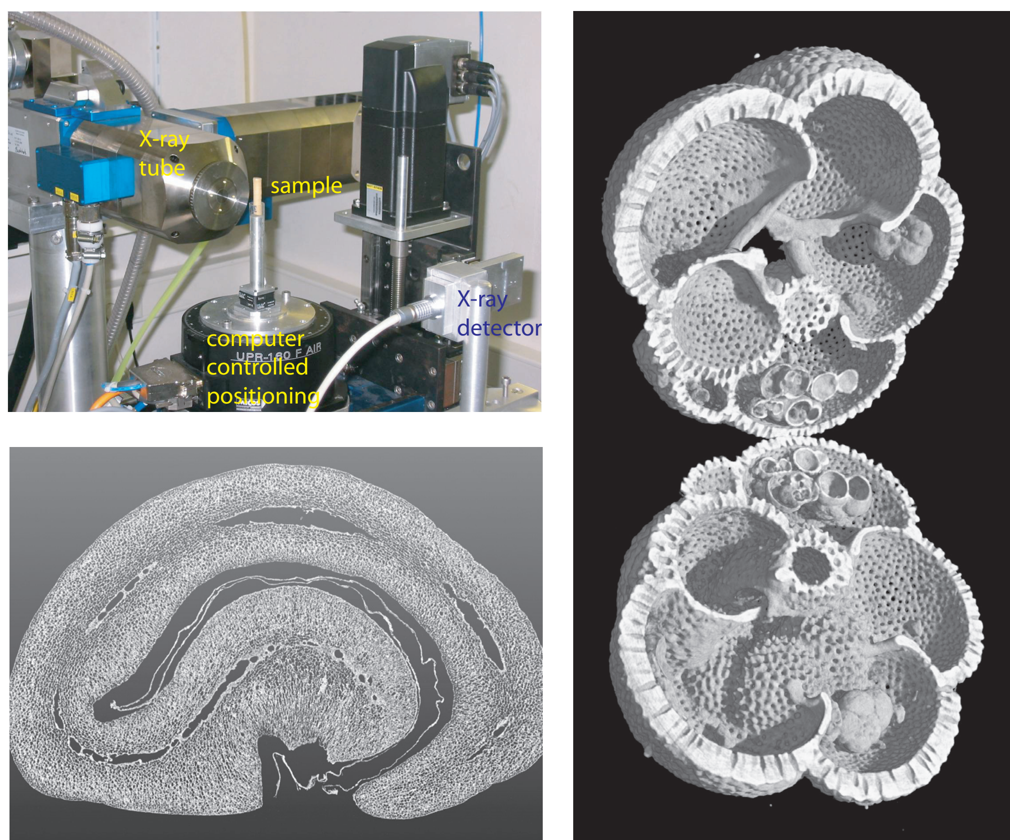
Quyển I, trang 344

Một nhóm kính hiển vi quét khác cũng sử dụng hiện tượng điện từ để tạo ra hình ảnh có độ phân giải cao nhất mà không sử dụng đến ánh sáng. Thí dụ nổi tiếng nhất là *kính hiển vi quét hiệu ứng xuyên hầm* hay STM, *kính hiển vi lực nguyên tử* hay AFM và *kính hiển vi lực từ* hay MFM. Các dụng cụ này, dù nhỏ và dễ chế tạo, đã cách mạng hoá ngành Khoa học vật liệu trong nhiều thập niên qua vì chúng cho phép đạt tới độ phân giải nguyên tử trong phạm vi một phòng thí nghiệm thông thường.

Tóm lại, ngày nay những tiến bộ về mặt công nghệ đã tạo ra nhiều hệ thống chụp ảnh phức tạp dựa trên kỹ thuật quét, đặc biệt trong lĩnh vực Hiển vi học. Vì lĩnh vực này vẫn còn nhiều thay đổi nên trong tương lai người ta vẫn mong chờ kỹ thuật quét sẽ tạo ra nhiều kết quả ấn tượng hơn nữa. Sự tiến bộ trong kỹ thuật quét nhắc ta nhớ tới một trong những tiến bộ trong quá khứ của một nguyên lý chụp ảnh khác nhằm tái tạo những hình ảnh bằng một phương thức phức tạp hơn: phép chụp cắt lớp.

Phép chụp cắt lớp

Có một phép chụp ảnh ngoạn mục chỉ có thể thực hiện được nhờ sự giảm giá của máy tính tốc độ cao, đó là: *phép chụp cắt lớp*. Trong phép chụp này, một nguồn bức xạ quay

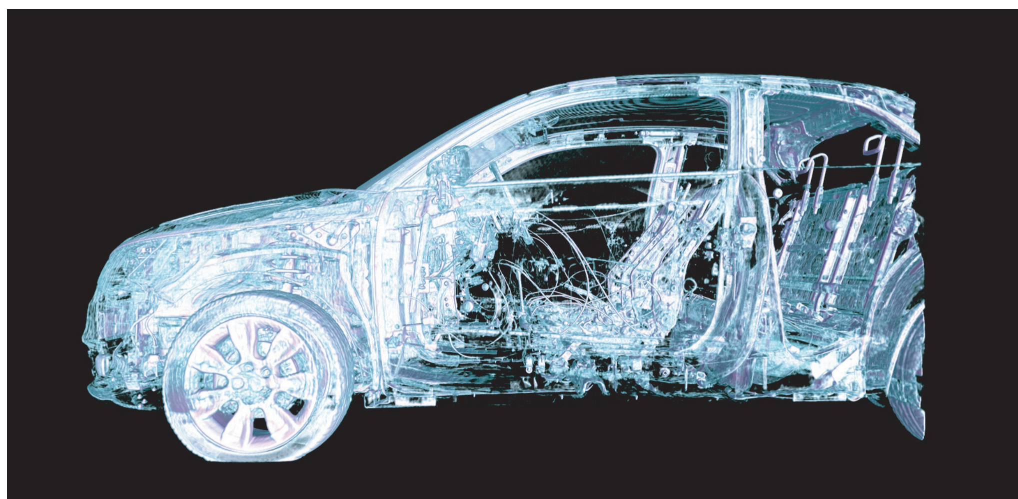


HÌNH 133 Thiết bị dành cho việc chụp cắt lớp có độ phân giải cao bằng tia X và 2 hình ảnh do nó tạo ra: thiết diện ngang của một hạt cà phê (hình dưới bên trái) kích thước 8 mm, và ảnh tái tạo 3 chiều của bộ xương ngoài của một hữu khổng trùng, đường kính chỉ 0.5 mm (© Manuel Dierick).

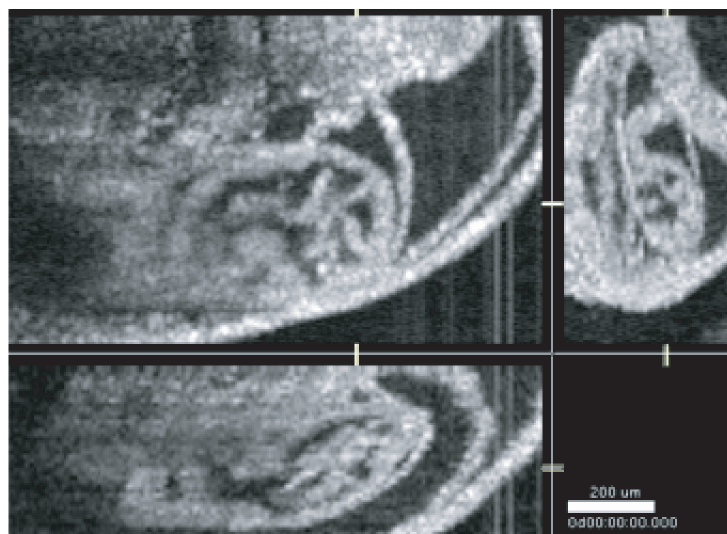
quanh vật thể được chụp ảnh; bức xạ bị tán xạ và/hay truyền qua được phát hiện và cùng với các chương trình máy tính phức tạp, một thiết diện ngang của vật thể được tạo dựng lại. Người ta cũng có thể dựng hình 3 chiều. Phép chụp cắt lớp có thể thực hiện được với mọi loại bức xạ có thể phát ra thành những chùm xác định, như tia gamma, tia X, ánh sáng, sóng vô tuyến, chùm electron, chùm neutron, âm và ngay cả động đất. Chụp cắt lớp bằng tia X là một phương pháp tiêu chuẩn trong việc chăm sóc sức khoẻ; chụp cắt lớp bằng ánh sáng khả kiến, không gây ra phản ứng phụ cho người, được sử dụng trong việc phát hiện các khối u trong vú. Các kỹ thuật chuyên biệt bổ sung là phép chụp cắt lớp điện trở suất, phép chụp cắt lớp cảm ứng từ và phép chụp cắt lớp electron lạnh.

Trong nhiều loại chụp cắt lớp, người ta đã đạt được độ phân giải rất đáng nể. Thí dụ như độ phân giải của các vật rất nhỏ được chụp bằng *phép chụp cắt lớp tia X* như ta thấy trong Hình 133. Thí dụ về ảnh chụp cắt lớp tia X của một vật lớn được trình bày trong Hình 134. Chế tạo một thiết bị tạo ra những hình ảnh như vậy là một dự án lớn và là một kỳ công đáng khâm phục. Phép chụp ảnh cộng hưởng từ, được sử dụng rộng rãi trong y khoa để chụp ảnh bên trong cơ thể người, là một loại chụp ảnh cắt lớp dựa trên sóng vô tuyến; ta sẽ đề cập đến nó sau. Các hệ thống chụp cắt lớp khác nhau – bao gồm

Quyển V, trang 162



HÌNH 134 Ảnh CT tia X của một xe hơi hiện đại với độ phân giải nhỏ hơn 1 mm (© Fraunhofer IIS).



HÌNH 135 Một film OCT của quả tim đang đập của một phôi chuột do Kyrill Larin ghi lại. Ba hướng nhìn tương ứng với 3 trục toạ độ. (QuickTime film © Kyrill Larin).

chụp cắt lớp quang-âm dựa trên sự tạo ra âm bằng các xung ánh sáng, chụp cắt lớp phát xạ positron, chụp cắt lớp quang điều hợp và siêu âm thông thường – cho kết quả là các đoạn film.

Một kỹ thuật cho phép ta chụp ảnh 3 chiều với độ phân giải cao là *phép chụp cắt lớp quang điều hợp*. Kỹ thuật này không gây hại cho bệnh nhân hay mẫu vật, chụp được đến độ sâu vài mm trong mô của động vật và đạt được độ phân giải tới 500 nm. Các hệ thống hiện đại chụp được ảnh có 10 GVoxel/s và hơn nữa nên người ta có thể sản xuất film của các quá trình sinh học ngay trong cơ thể sống, như các dòng máu trong ngón tay người. Ta cũng có thể xác định được hướng của dòng máu nhờ sử dụng hiệu ứng Doppler. Một



HÌNH 136 Sự hạn chế của mắt (xem trong sách).

thí dụ kỳ diệu khác được cho trong Hình 135. OCT thường được sử dụng trong nhãn
Trang 195 khoa; OCT cũng được nghiên cứu cho nhiều ứng dụng trong khoa da liễu. OCT *nội soi*, tức là thực hiện OCT qua một ống thăm nhỏ đưa vào trong cơ thể, sẽ trở thành một công cụ quan trọng trong u bướu học và khoa tim trong tương lai. OCT cũng được sử dụng trong việc nghiên cứu vật liệu để chụp ảnh các môi trường vẩn đục hay tạo ra các biên dạng topo.

Một phương pháp chụp ảnh khác thường là *phép chụp cắt lớp muon*, một phương pháp chụp ảnh sử dụng muon trong tia vũ trụ để dò ra kim loại nặng trong hộp, hành lý hay xe tải. Phương pháp này rất thú vị trong việc tìm kiếm kim loại nặng bị che dấu như plutonium, thường tán xạ muon mạnh hơn các kim loại khác.

Mắt và não bộ: việc ghi nhận và xử lý hình ảnh

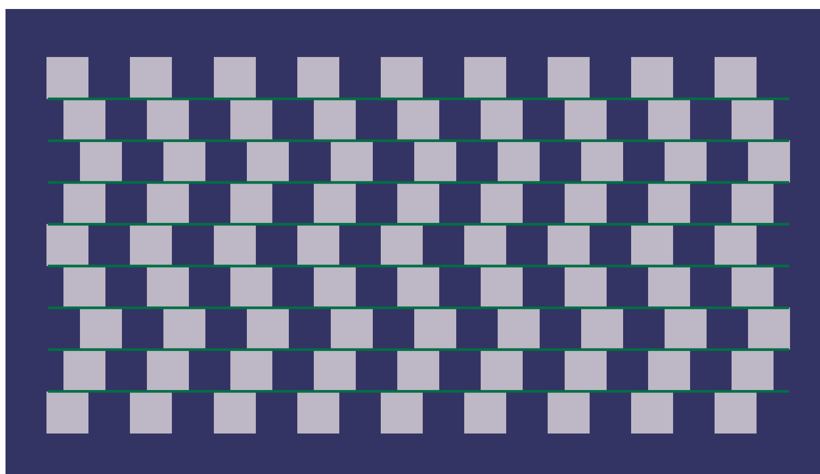
Hệ thống xử lý hình ảnh ghi nhận hình ảnh và trích xuất thông tin từ các hình ảnh đó. Trong các hệ thống xử lý ảnh, việc ghi nhận dành cho máy ảnh và việc trích xuất thông tin dành cho các phần mềm trên máy tính. Một hệ thống xử lý ảnh thú vị đã được chế tạo sẵn cho chúng ta: tổ hợp mắt và não bộ. Mắt và não bộ là các thiết bị phức tạp. Ta sẽ bắt đầu thám hiểm cấu tạo và cách hoạt động của mắt.

Có phải ta nhìn thấy những gì đang hiện hữu không?

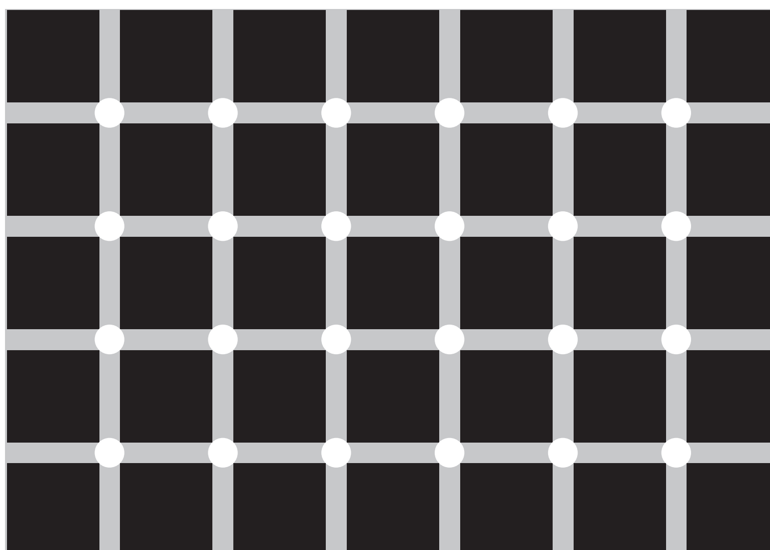
Đôi khi ta nhìn thấy *ít hơn* những gì đang hiện hữu. Hãy nhắm mắt trái rồi nhìn vào điểm trắng trong Hình 136, từ từ kéo trang giấy sang phía mắt phải và chú ý vào những đường ở giữa. Ở khoảng cách từ 15 tới 20 cm đường chính giữa hình như đứt đoạn. Tại
Câu đố 170 s sao như vậy?

Hãy nhìn bằng 1 mắt vào màn hình máy tính có màu xanh và đen đang nhấp nháy
Xem 135 với tốc độ 1 hay 2 lần mỗi giây. Bây giờ nhìn vào màn hình đó xuyên qua một kính lọc
Câu đố 171 s xanh (Một kính lọc Balzers K45 hay Kodak BG12). Bạn sẽ thấy một điểm. Tại sao?

Đôi khi ta lại nhìn thấy *nhiều hơn* như trong hình 137 và 138. Hình đầu cho ta thấy các đường song song bị lệch đi và trong hình thứ 2 được gọi là *lưới Hermann*, theo tên



HÌNH 137 Góc giữa các đường thẳng và giữa các hình vuông là bao nhiêu?



HÌNH 138 Lưới Lingelbach: bạn có thấy các điểm trắng, xám hay đen ở các giao điểm hay không?

người khám phá ra nó.* Lưới Hermann trong Hình 138, do Elke Lingelbach khám phá năm 1995, thu hút được nhiều sự chú ý. Các dạng khác của lưới này hiện nay được sử dụng để tìm hiểu cơ chế của thị giác. Thí dụ như chúng có thể được dùng để xác định số tế bào nhạy sáng trong võng mạc kết hợp với một đường tín hiệu đi về não. Các ảo thị phụ thuộc góc vì số tế bào cũng phụ thuộc góc.

Xem 136

Mắt của chúng ta cũng 'thấy' các vật *khác nhau:* võng mạc thấy ảnh *ngược* của thế giới. Theo Helmholtz có một phương pháp đơn giản để chứng minh cho điều này.** Bạn

* Ludimar Hermann (b. 1838 Berlin, d. 1914 Königsberg) là một nhà sinh lý học nổi tiếng. Lưới này thường được gọi sai là 'lưới Hering' theo tên người đã làm cho khám phá của Hermann nổi tiếng.

** Hãy xem Hermann von Helmholtz, *Handbuch der physiologischen Optik*, 1867. Tác phẩm cổ điển



HÌNH 139 Một thí dụ về ảnh hồng ngoại, có pha chút ảnh màu (© Serge Augustin).

chỉ cần một cây kim và một mảnh giấy, thí dụ như trang sách này. Dùng kim đục 2 lỗ trong 2 chữ 'oo'. Giữ tờ giấy càng gần mắt càng tốt, nhìn xuyên qua 2 lỗ lên tường, giữ cây kim thẳng đứng, ở sau tờ giấy vài cm. Bạn sẽ thấy 2 ảnh của cây kim. Nếu bạn che lỗ *bên trái* bằng ngón tay, ảnh *bên phải* của cây kim sẽ biến mất và ngược lại. Điều này chứng tỏ rằng ảnh bên trong mắt trên võng mạc bị đảo ngược. Bạn có thể chứng minh cho đầy đủ không? Câu đố 172 ny

Một huyền thoại đô thị do nhiều bác sĩ và nữ hộ sinh lưu truyền cho tới ngày nay, cho rằng trẻ sơ sinh đều thấy mọi vật ngược đầu. Bạn có thể tìm ra chỗ sai của câu chuyện này hay không? Câu đố 173 s

Hai thí nghiệm bổ sung có thể chứng tỏ rằng võng mạc thu được ảnh đảo ngược. Nếu bạn ấn nhẹ vào *bên trong* mắt (hãy cẩn thận!), bạn sẽ thấy một điểm đen xuất hiện *bên ngoài* thị trường. Thứ hai, nếu bạn đứng trong một phòng tối và yêu cầu một người bạn nhìn vào một ngọn nến rồi nhìn vào mắt của họ: bạn sẽ thấy 3 ảnh phản chiếu: 2 ảnh xuôi, phản xạ từ giác mạc và thuỷ tinh thể, và một ảnh mờ, *đảo ngược*, phản xạ từ võng mạc.

Mắt của chúng ta không tạo ra hình ảnh trung thực của thiên nhiên: chúng có một độ nhạy hữu hạn theo bước sóng. Độ nhạy cao nhất ở 560 nm; ngoài màu đỏ và màu tím, mắt chúng ta không phát hiện được bức xạ. Như vậy chúng ta chỉ nhìn thấy một phần của thiên nhiên. Kết quả là các ảnh hồng ngoại của thiên nhiên như hình trong Hình 139, là một điều khá thú vị vì chúng cho ta thấy những gì khác với thế giới mà ta thường nhìn thấy. Điều tương tự cũng xảy ra cho ảnh tử ngoại như ta thấy trong Hình 140. Ảnh của bầu trời cũng thay đổi theo bước sóng; website www.chromoscope.net nói khá rõ về điều này. Xem 137

này có bản tiếng Anh là *Handbook of Physiological Optics*, Dover, 1962. Hermann Helmholtz (b. 1821 Potsdam, d. 1894 Charlottenburg), là bác sĩ, vật lý gia, chính trị gia nổi tiếng nhờ các công trình về Quang học, Âm học, Điện động lực học, Nhiệt động lực học, Nhận thức luận và Hình học. Ông đã sáng lập nhiều viện vật lý trên khắp nước Đức. Ông là một trong những người đầu tiên truyền bá ý tưởng về sự bảo toàn năng lượng. Một quyển sách quan trọng khác của ông, *Die Lehre von den Tonempfindungen*, xuất bản năm 1863, mô tả những điều cơ bản về Âm học giống như một cuốn sổ tay vẫn còn là một cuốn sách giá trị.



HÌNH 140 Diện mạo của hoa hướng dương thay đổi theo bước sóng: đối với mắt người, mắt chim và dưới tia tử ngoại (© Andrew Davidhazy).

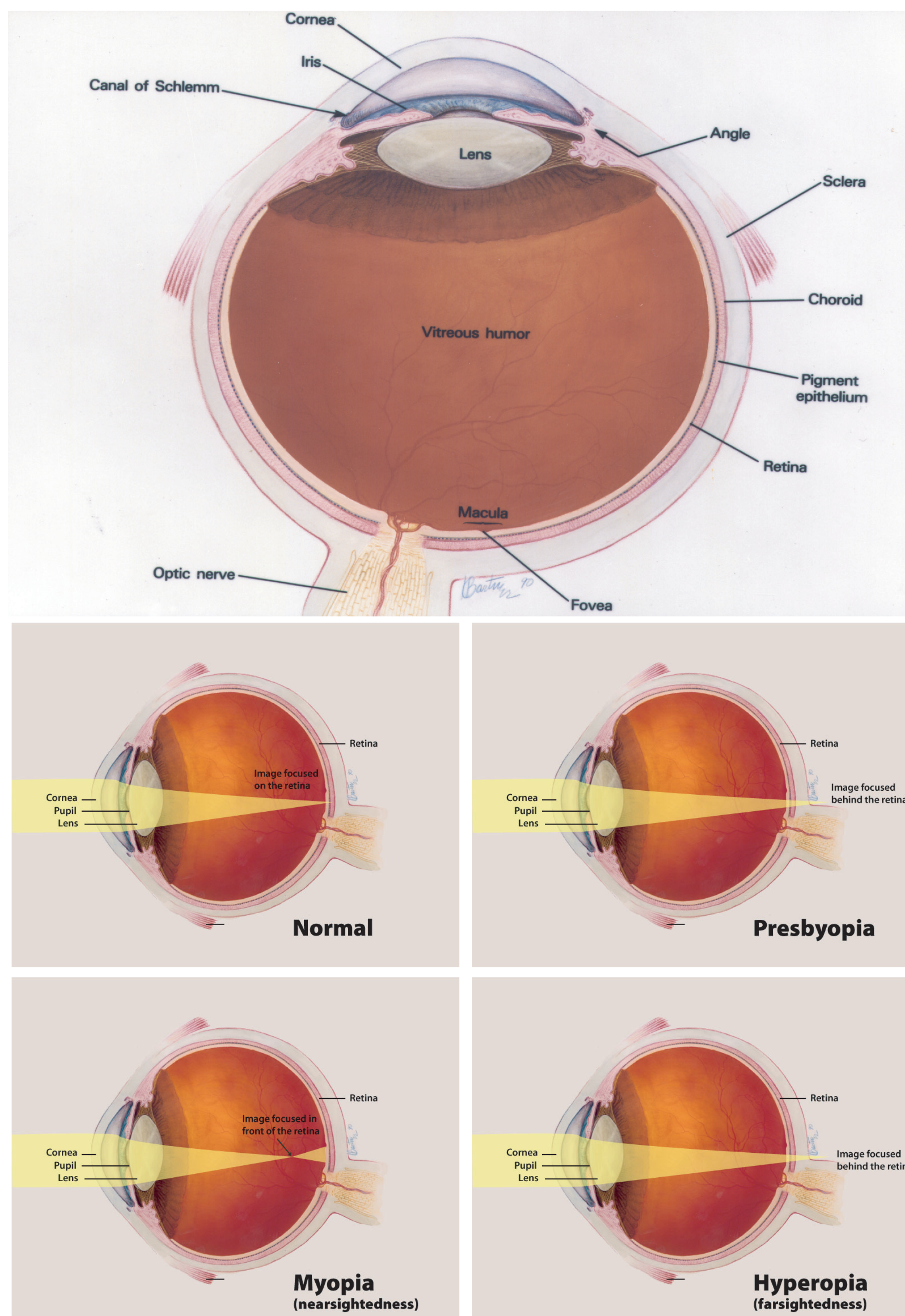
Mắt thấy rõ nhất trong vùng hố thị giác. Nhưng độ nhạy cao nhất lại không ở trong vùng đó. Kết quả là chúng ta thường không thấy các ngôi sao mờ vào ban đêm khi nhìn thẳng vào chúng nhưng lại thấy chúng khi nhìn sang *bên cạnh*. Hiệu ứng này bắt nguồn từ sự phân bố đặc biệt của các tế bào hình que, có mật độ cao nhất ở nơi lệch khỏi trục nhìn sắc nét nhất là 20°.

Nhiều ảo thị khác có thể tìm thấy trong quyển sách này. Tóm lại, ta cần thận trọng khi cho rằng thấy có nghĩa là quan sát. Thị giác của chúng ta có giới hạn. Có giới hạn giác quan nào khác mà ít hiển nhiên hơn không? Cuộc phiêu lưu của chúng ta sẽ khám phá ra nhiều điều nữa. Nhưng bây giờ hãy quay lại với những điều mà mắt *có thể* làm được.

Mắt người

Mắt là phần chuyển động thường xuyên nhất trong cơ thể – hơn cả trái tim. Người ta ước tính là mắt thực hiện 200 triệu cử động đột ngột trong 1 năm. Do đó cơ chế cử động và bôi trơn của mắt phức tạp một cách đặc biệt. Có nhiều loại chuyển động của mắt: không kể các cử động đột ngột, mắt còn có các chuyển động theo bù trừ cho việc quay đầu, được gọi là phản xạ mắt-tiền đình và các chuyển động run nhẹ của mắt.

Mắt người còn được gọi là *mắt máy ảnh*. Giống như một máy ảnh và khác với mắt côn trùng và các mắt đa hợp khác, mắt của động vật có xương sống hoạt động bằng cách tạo ra một ảnh của thế giới bên ngoài trên một mặt gồm có các bộ cảm biến ánh sáng là *võng mạc*. Võng mạc che phủ một nửa bên trong nhãn cầu, có đường kính (ở mắt người lớn) khoảng 16.7 mm. Tròng đen có đường kính từ 2 mm – nhỏ hơn thì người đó có tật về khúc xạ – tới 7 mm – là mức mà quang sai của thuỷ tinh thể còn chấp nhận được. Ảnh trên võng mạc có một độ biến dạng nhỏ, một sắc sai nhỏ (khoảng 1 dioptre giữa đỏ và xanh) và một quang sai coma nhỏ; mắt đạt được hiệu suất này nhờ có một thuỷ tinh thể phi cầu có chiết suất thay đổi, biến dạng được và một giác mạc có hình dạng gần với hình dạng lý tưởng trong phạm vi 30 μm – một giá trị tuyệt hảo đối với một vật biến dạng. Mắt cùng với não bộ cũng có sẵn một hệ tự điều tiêu hiệu quả – mà ta chưa hiểu hết – một hệ bổ chính chuyển động và ổn định hình ảnh tuyệt hảo. Một phần của thiết bị kỳ diệu này được trình bày trong Hình 141.



HÌNH 141 Hình trên: thiết diện ngang đơn giản hoá của mắt người; hình dưới: so sánh sự tạo ảnh giữa mắt thường và các mắt có vấn đề, lão thị, cận thị và viễn thị. (© NEI at NIH)

Võng mạc là một phần phát triển của não bộ. Nó chứa 120 triệu *tế bào hình que* hay các điểm ảnh đen trắng và 6 triệu *tế bào hình nón* hay điểm ảnh màu. Mỗi điểm ảnh có thể phát hiện khoảng từ 300 tới 500 mức cường độ (9 bit). Mắt hoạt động trong khoảng cường độ từ 8 tới 10 cấp sáng; cơ chế phức tạp vô kể này, diễn ra trong các thụ thể, liên quan tới các ion calcium và chỉ được hiểu rõ cách nay vài năm. Vùng có độ phân giải cao nhất, *hố thị giác*, có kích thước góc khoảng 1°. Độ phân giải của mắt khoảng 1′. Thời gian tích hợp của võng mạc khoảng 100 ms – dù vậy ta vẫn không thể nhận ra các vật trong thời gian đảo mắt đột ngột. Võng mạc có bề dày 200 μm và trong suốt: tức là các dây nối với các thụ thể cũng trong suốt.

Võng mạc tiêu thụ rất ít năng lượng và sử dụng một loại neuron khác các dây thần kinh thông thường: neuron trong võng mạc sử dụng *thế điện trương* chứ không phải điện thế tác dụng trong nhiều dây thần kinh khác, sẽ gây ra sự giao thoa khiến ta không thể nhìn được. Trong hố thị giác, mọi điểm ảnh đều nối với não. Ở biên của võng mạc, có khoảng 10 000 điểm ảnh liên kết với 1 kênh tín hiệu. (Nếu mọi điểm ảnh liên kết 1-1 với não thì não phải lớn như một phòng học). Kết quả là các tín hiệu của hố thị giác, có diện tích chỉ vào khoảng 0.3 % của võng mạc, sử dụng khoảng 50 % khả năng xử lý trong vỏ não. Để tránh sắc sai, hố thị giác không có thụ thể xanh. Võng mạc cũng có một bộ tiền xử lý hình ảnh: nó chứa 3 lớp neuron tạo thành 1.3 triệu kênh nối tới vỏ não, tiếp tín hiệu cho 5 triệu sợi trục nối với 500 triệu neuron.

Phương pháp nén giữa 125 triệu điểm ảnh trong võng mạc và 1.3 triệu kênh nối tới vỏ não vẫn còn được nghiên cứu. Ta đã biết tín hiệu không vận chuyển dữ liệu của điểm ảnh và các luồng dữ liệu được xử lý theo vài chục cách khác nhau. Các luồng dữ liệu không mang các giá trị cường độ sáng và không truyền các giá trị RGB mà là sự khác nhau về màu sắc. Các luồng dữ liệu mang tín hiệu dưới dạng nén và dữ liệu về tần số không gian được giản lược. Việc nghiên cứu đã cho thấy cách mà các hạch thần kinh trong võng mạc tạo ra một chân trời đạo hàng, cách mà chúng phát hiện các vật chuyển
Xem 138
động trên nền của thị trường và cách mà chúng bù trừ cho chuyển động của đầu. Ta sẽ nhận được thêm nhiều kết quả bổ sung trong các thập niên sắp tới; ta vẫn chưa biết hết về các kênh dữ liệu giữa mắt và não.

Ngoài các tế bào hình que và hình nón, mắt người còn chứa một loại thụ thể thứ 3. Loại này, *tế bào hạch thần kinh nhạy sáng* hay *tế bào hạch thần kinh võng mạc nhạy sáng nội tại*, chỉ mới được khám phá vào đầu thập niên 1990 làm phát sinh cả một lĩnh vực
Xem 139
nghiên cứu mới. Tế bào hạch thần kinh nhạy sáng chỉ nhạy với ánh sáng xanh, sử dụng quang sắc tố melanopsin và phản ứng cực chậm. Chúng liên kết với nhân chéo trên trong não, một cấu trúc nhỏ như hạt gạo điều khiển chu trình hormone hằng ngày của chúng ta. Vì vậy bạn nên thường xuyên đi dạo ngoài trời nơi có nhiều ánh sáng xanh để khởi động lại đồng hồ của cơ thể và rũ bỏ sự mệt mỏi sau một chuyến bay dài. Tế bào hạch thần kinh nhạy sáng cũng tạo ra các tín hiệu điều khiển đường kính của con ngươi.

Cũng nên nhắc lại là các hình vẽ trong Hình 141 đã *được giản lược*. Chúng không cho ta thấy cấu trúc của phần trong suốt của mắt như thuỷ tinh thể, ống thể kính đóng vai trò quan trọng trong sự phát triển của mắt của bào thai. Đúng ra sự tăng trưởng của mắt trong tử cung còn kỳ diệu hơn chức năng thực sự của nó – nhưng câu chuyện này đã đi ra ngoài phạm vi của quyển sách.

Mắt người và mắt các loài động vật khác

Mắt người và mắt của nhiều động vật khác là các thiết bị tốt hơn các máy ảnh/máy quay phim. Không những nó chứa nhiều điểm ảnh hơn phần lớn các máy ảnh mà nó còn không nhạy với các lỗi về điểm ảnh, với mạch máu trước các cảm biến. Không có máy ảnh nào bao trùm một khoảng biến thiên về cường độ như võng mạc. Không có máy ảnh nhân tạo nào có hệ thấu kính có chất lượng hay khả năng so sánh được với mắt: góc nhìn lớn, độ biến dạng của trường nhỏ – bắt nguồn từ dạng hình cầu của võng mạc – và ít sắc sai. Không có hệ tự điều tiêu kỹ thuật nào, bộ ổn định hình ảnh nào hay hệ bổ chính chuyển động nào so được với mắt.

Có một hạn chế của mắt đó là tốc độ. Mắt người tạo ra 30 ảnh/s cho tới 120 ảnh/s dưới điều kiện lý tưởng nhất; chó và chim đạt được tốc độ gấp 2 lần và côn trùng là 10 lần như vậy. Máy quay video hiện đại có thể tạo ra hơn 10 000 ảnh/s. Khi phát triển mắt, sự tiến hoá đã đánh đổi tốc độ cho độ phân giải. Để đạt được độ phân giải cao, mắt liên tục thực hiện các chuyển động nhỏ, được gọi là *vi nhãn chấn*. Nói chi tiết hơn thì mắt liên tục dao động quanh trục nhìn với tần số từ 40 tới 50 Hz; trung bình có 1 điểm ảnh trên 30 tới 50 thụ thể nhưng người ta chưa biết cơ chế làm rõ nét hình ảnh. Chuyển động này làm tăng số điểm ảnh hiệu dụng, tránh các vấn đề với điểm ảnh chết, cho phép các tế bào hình que và hình nón hồi phục.

Mọi mắt của động vật có xương sống đều có *tế bào hình que*, loại điểm ảnh tạo ra ảnh đen trắng vào ban đêm. Thêm vào đó, võng mạc của mắt người còn có 3 loại tế bào hình nón cho các màu đỏ, lục và lam. Như ta đã đề cập, mắt của chim, bò sát và cá tốt hơn nhiều: chúng có 4 loại tế bào hình nón hay nhiều hơn, có sẵn các bộ lọc màu và thuỷ tinh thể trong suốt đối với tia tử ngoại. Loại tế bào hình nón thứ 4 và thuỷ tinh thể đặc biệt làm cho mắt của chim và bò sát nhạy với ánh sáng tử ngoại gần; chim dùng thị giác tử ngoại để tìm kiếm thức ăn và để phân biệt con trống và con mái. Thật vậy, nhiều loài chim có con trống/mái trông giống nhau đối với người sẽ khác nhau rất nhiều dưới ánh sáng tử ngoại.

Chim và bò sát cũng có các giọt dầu có màu gắn trên đỉnh của tế bào hình nón, mỗi loại tế bào nón một màu. Các giọt dầu này có tác dụng như kính lọc màu. Nhờ cách này, độ phân giải phổ của các tế bào hình nón của chúng cao hơn độ phân giải của động vật hữu nhũ. Cảm giác về màu sắc của loài chim phức tạp hơn loài người – ngắm thế giới bằng mắt chim sẽ thấy nó rất quyến rũ. Chim là loài thấy màu tốt nhất trong các loài. Chúng có các thụ thể hình nón dành cho màu đỏ, xanh, lục, tử ngoại và tuỳ theo loại chim, có thể lên tới 3 bộ màu nữa.

Chim đại bàng và một số loài chim khác (nhưng không nhiều) cũng có độ phân giải của mắt tốt hơn người. Chúng đạt được điều này bằng 2 cách. Thứ nhất là quang thụ thể nhỏ; nói cách khác, kích thước điểm ảnh đối với đường kính mắt là nhỏ nhất, chỉ có 1.6 μm. Thứ nhì, mắt có cả xương. Các xương này cố định vị trí của thuỷ tinh thể và võng mạc, như một thân máy ảnh rắn. Với giải pháp kỹ thuật này thì mắt đại bàng rõ ràng là tốt hơn mắt người.

Trong quá trình tiến hoá, mắt loài động vật hữu nhũ mất 2 loại tế bào hình nón chỉ còn lại 2 loại. Sau này động vật linh trưởng (thế giới cổ) kiếm lại được 1 loại để phân biệt trái cây, là loại thực phẩm quan trọng cho não so với lá cây chung quanh, rõ ràng hơn. Nhưng dù có sự thay đổi này, chúng cũng không bao giờ đạt tới khả năng của mắt chim. Như vậy, trong tất cả các loài động vật hữu nhũ, chỉ có động vật linh trưởng có thể thấy

đủ *màu* như người. Thí dụ như bò tót thì không; chúng không thể phân biệt màu đỏ với màu xanh.

Loài người là loài *tam sắc*: ta có 3 loại tế bào hình nón để phát hiện màu đỏ, màu lục và màu lam. Tuy vậy, có khoảng 1 % phụ nữ (vì lý do gì đó) thuộc loài *tứ sắc*. Điều này có thể xảy ra vì loài người có 2 loại sắc tố đỏ khác nhau. Các thông tin của sắc tố đỏ được mã hoá trên nhiễm sắc thể X. Hiện nay, ở một số phụ nữ, có 2 mã nhiễm sắc thể X dành cho 2 loại sắc tố đỏ. Ở những người này, 2 loại sắc tố đều có trong tế bào hình nón của mắt. Như vậy giống như họ có mắt loại RR'GB. Những thí nghiệm kiểm chứng đã chứng tỏ rằng họ có thể phân biệt nhiều sắc thái đỏ hơn đàn ông và các phụ nữ khác.

Xem 140

Mọi chuyên viên về chuyển động cũng nên biết rằng độ nhạy cao nhất của mắt người *không* tương ứng với phần sáng nhất trong ánh Mặt trời. Huyền thoại này đã lan toả khắp thế giới qua nhiều quyển sách giáo khoa sao chép lẫn nhau. Tuỳ theo tần số, bước sóng hay logarithm của bước sóng được sử dụng, cực đại trong quang phổ Mặt trời nằm ở 500 nm, 880 nm hay 720 nm. Độ nhạy phổ của mắt người, giống như độ nhạy hoàn toàn khác nhau của chim hay ếch, bắt nguồn từ các hoá chất được sử dụng trong việc phát hiện. Tóm lại, ta chỉ có thể hiểu được mắt người bằng cách phân tích cẩn thận lịch sử tiến hoá đặc biệt của nó.

Xem 141

Mắt kiểu máy ảnh được tìm thấy trong mọi loài động vật có xương sống. Loài động vật hữu nhũ có mắt giống như mắt chúng ta, với thuỷ tinh thể mềm dẻo; trái lại, rắn có thuỷ tinh thể cứng chuyển động đối với võng mạc để đưa hình ảnh vào đúng tiêu điểm. Mắt kiểu máy ảnh đã nhiều lần tiến hoá một cách độc lập trong các nhóm động vật khác. Phần lớn động vật thân mềm, thí dụ như bạch tuộc, có mắt to nhất, đường kính lên tới 30 cm. Mắt kiểu máy ảnh cũng được tìm thấy ở một số loài nhện, ốc sên và trong một số các nhóm khác.

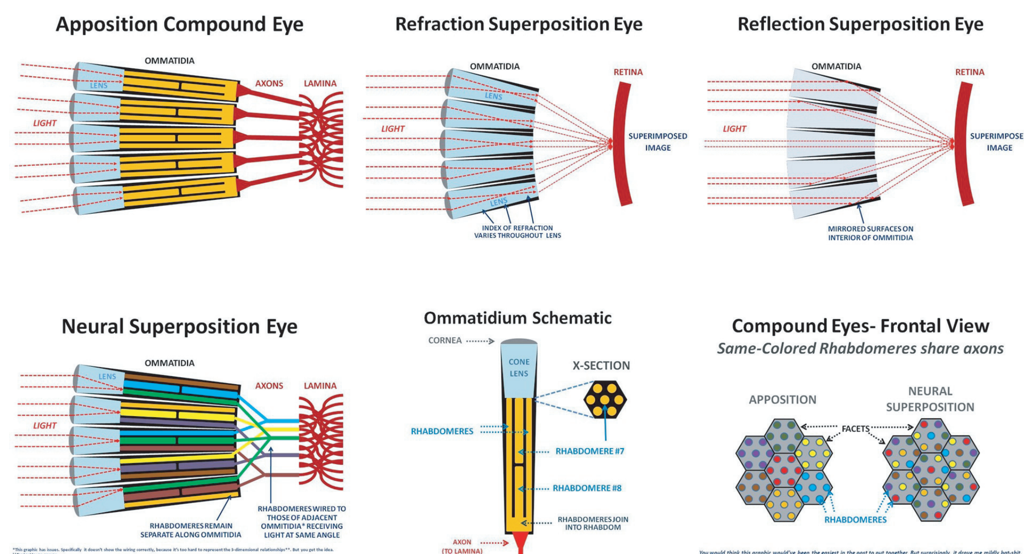
Cũng cần nói thêm, hệ thống mắt–não bộ xử lý các màu chủ yếu quanh hướng nhìn. Điều này cho phép ta làm một thủ thuật vui: nếu có một hệ thị giác dõi theo hướng nhìn của bạn, ta có thể ra lệnh để màn hình máy tính chỉ hiển thị các màu trong vùng mà bạn đang nhìn vào và để lại phần khác có màu đen trắng. Nếu hệ thống lệnh đủ nhanh, bạn sẽ có ấn tượng rằng nguyên cả hình đều có màu, trong khi mọi người kế bên chủ yếu chỉ thấy hình đen trắng và chỉ có màu trong một điểm thường xuyên chuyển động.

Mắt phổ biến trong thiên nhiên không phải là mắt máy ảnh mà là *mắt đa hợp*, như ta thấy ở ong, bướm hay ruồi. Mắt đa hợp có một thuỷ tinh thể cho một sợi trục. Các đơn vị mắt này thường có hình lục giác và được gọi là *mắt con*, chứa nhiều quang thụ thể nối với các sợi trục đi ra ngoài. Một mắt con là một con mắt tí hon; tuỳ theo loài, một mắt đa hợp có ít nhất là 100 và nhiều nhất là 30 000 mắt con (đối với một số loài bướm). Nhiều mắt đa hợp thuộc loại tứ sắc hay ngũ sắc. Mắt đa hợp có độ phân giải thấp – người ta cho rằng côn trùng không nhìn thấy sao – nhưng mắt như vậy lại có nhiều lợi điểm. Mắt đa hợp không cần cơ chế điều tiêu, có thị trường rộng và quan trọng nhất, chúng cực nhanh. Những lợi điểm này hấp dẫn đến nỗi máy ảnh điện tử kiểu mắt đa hợp được nghiên cứu để thay thế cho máy ảnh một thấu kính, một cảm biến thông thường.

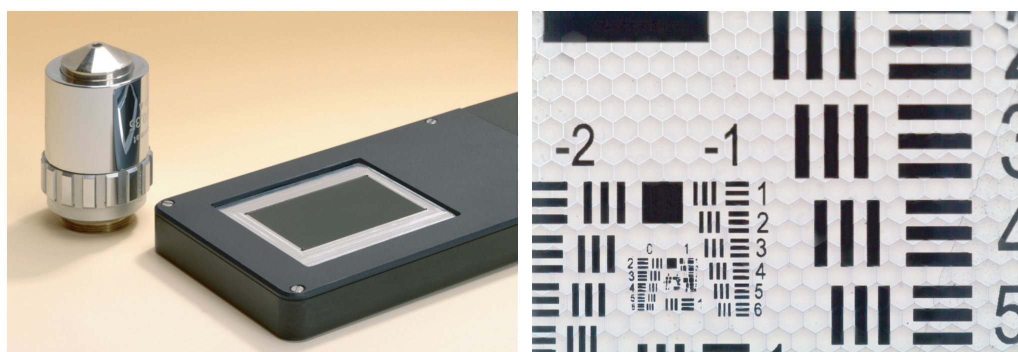
Việc sử dụng ý tưởng xuất phát từ mắt côn trùng cũng khá thú vị đối với các ứng dụng khác. Thí dụ như công nghệ hiện đại cho ta khả năng cách tân kiểu dáng của kính hiển vi. Hình 143 trình bày một kính hiển vi mà thực ra là một dãy gồm hàng ngàn kính hiển vi nhỏ. Các thấu kính tạo ra hình ảnh trên một chip tạo ảnh CMOS 16 megapixel.

Xem 142

Tóm lại, các cấu trúc tế vi trong mắt rất quan trọng và hấp dẫn. Nhưng ở đây ta lại gặp một vấn đề.



Hình 142 Mắt đa hợp: mắt đa hợp ghép tìm thấy ở ong và bướm, mắt chồng chập khúc xạ của ngài, mắt chồng chập phản xạ của tôm hùm, (không có hình: mắt chồng chập parabol của một số loài cua) và mắt chồng chập neuron của ruồi (© Watcher, from watchingtheworldwakeup.blogspot.com).



Hình 143 Một kính hiển vi phẳng được làm bằng các dãy vi thấu kính xếp chồng lên nhau – đặt cạnh một vật kính thông thường – và một hình ảnh do nó tạo ra (© Frank Wippermann).

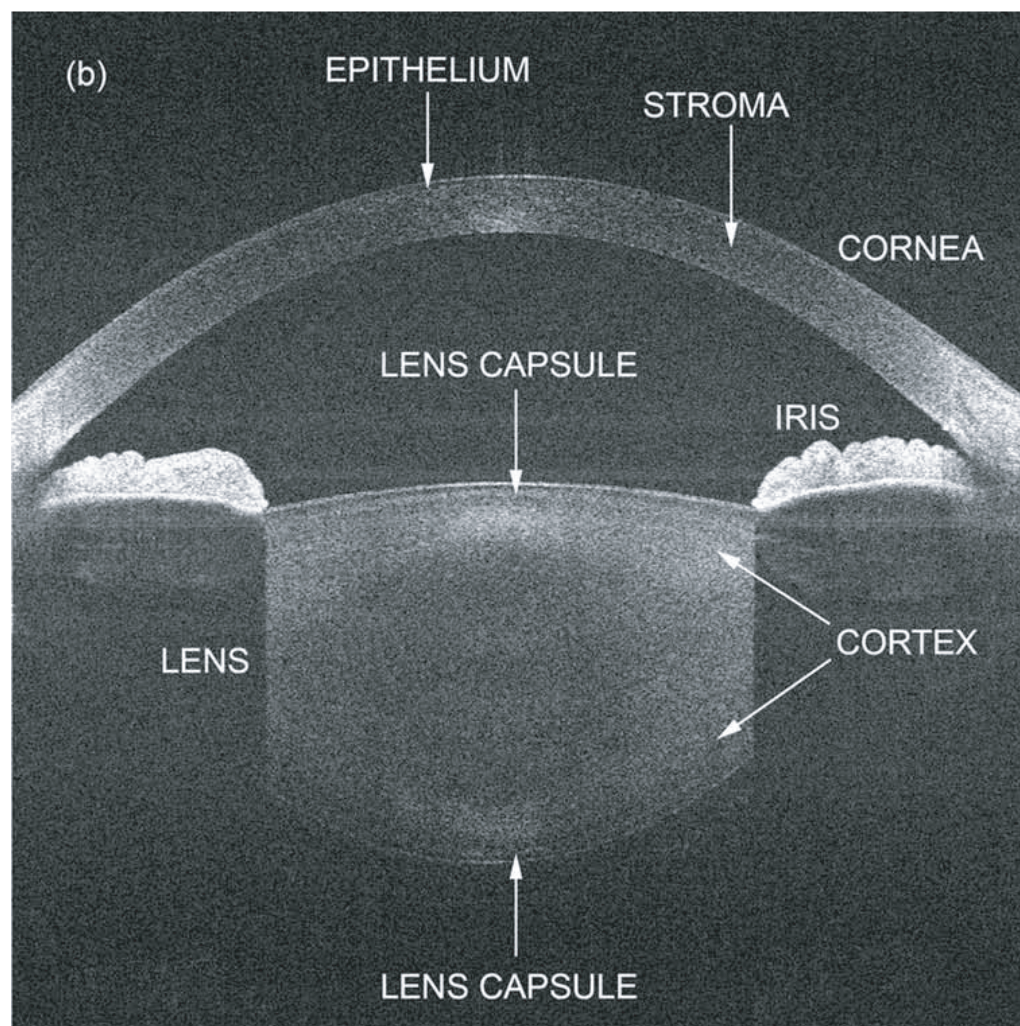
Ta có thể ghi lại hình ảnh bên trong mắt như thế nào?

Khi ta nhìn xuyên qua một lỗ nhỏ vào một bề mặt sáng, ta có thể thấy các mạch máu trong mắt chúng ta. Đặc biệt ta có thể thấy hố thị giác không có mạch máu nào. Nhưng làm thế nào để ta có thể quan sát cấu trúc tế vi trong mắt người khác?

Việc chụp ảnh các chi tiết trong mắt không dễ dàng. Võng mạc xa bề mặt của mắt nên ta không thể sử dụng kính hiển vi thông thường. Hơn nữa, chuyển động liên tục của thuỷ tinh thể và mắt làm rối loạn hệ ghi hình. Sau cùng, có 2 phát triển riêng rẽ đã làm thay đổi tình trạng này trong thập niên 1990.

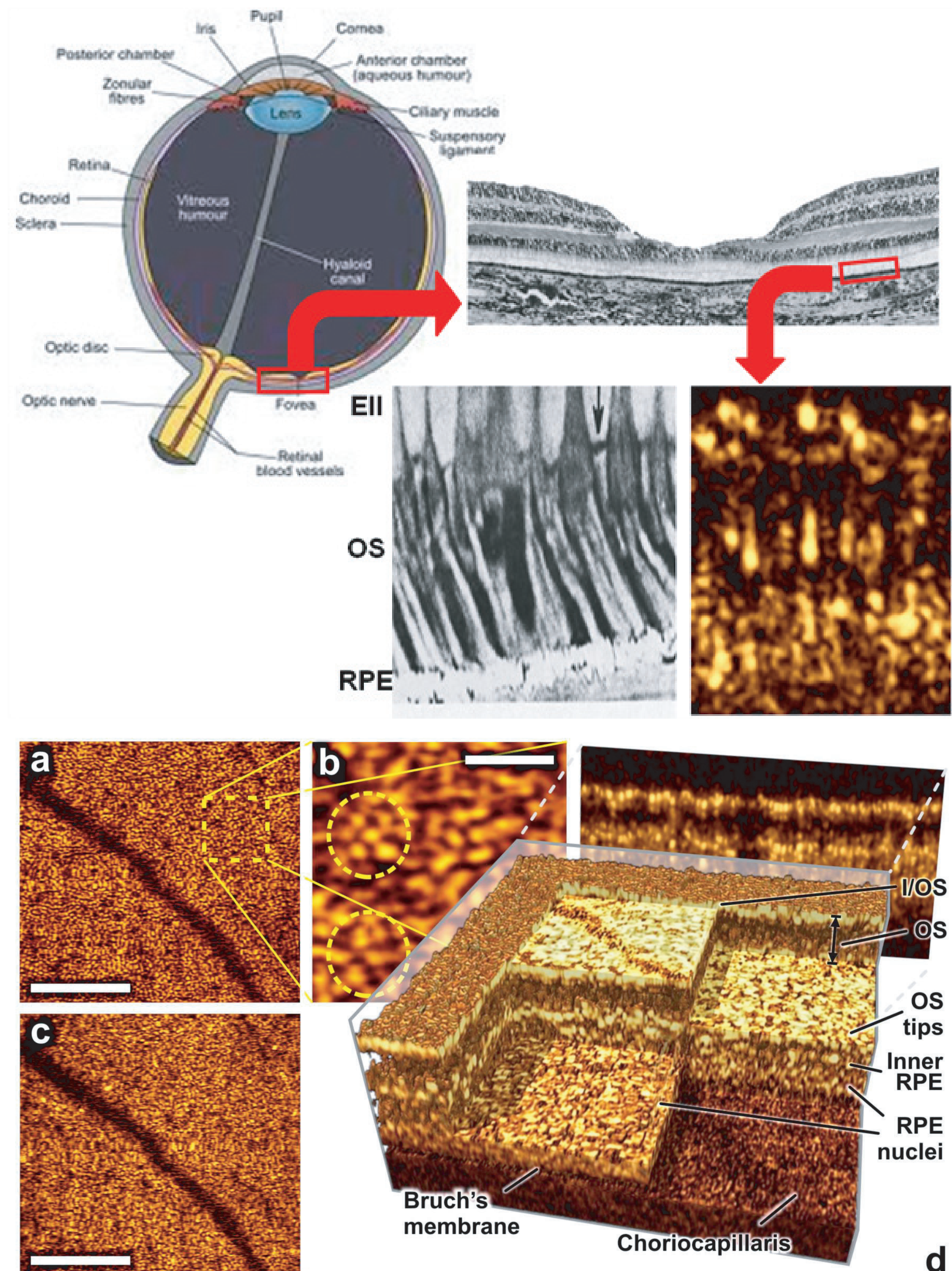
Trang 186

Bước đột phá đầu tiên trong việc chụp ảnh mắt là kỹ thuật đã nói ở trên, *phép chụp cắt lớp quang điều hợp*. Phương pháp chụp ảnh này sử dụng một chùm laser công suất

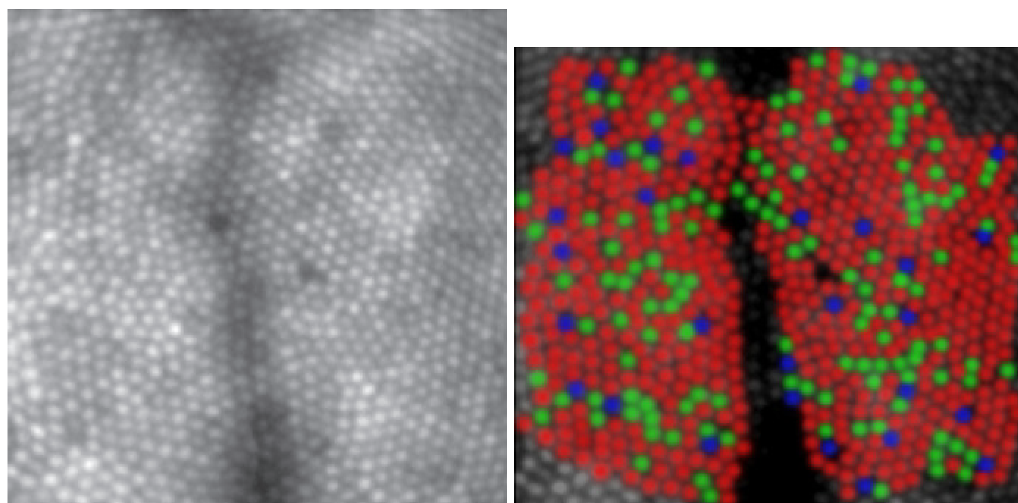




HÌNH 144 Hình trên: hình ảnh phía trước của mắt người chụp bằng phương pháp chụp cắt lớp quang điều hợp, cho thấy giác mạc, con ngươi và thuỷ tinh thể. Hình dưới: thiết bị điển hình của bác sĩ nhãn khoa. (© www.zmpbmt.meduniwien.ac.at/forschung/optical-imaging/advanced-imaging-technologies/, Heidelberg Engineering)



HÌNH 145 Hình ảnh của võng mạc chụp bằng phương pháp chụp cắt lớp quang điều hợp quang học thích ứng. Hình trên: Thiết diện của mắt người cho thấy một vùng đặc biệt của võng mạc, hố thị giác, ở thành phía sau của mắt; mô học của vùng này cho thấy phần bên ngoài (OS) của các tế bào quang thụ thể và phần này được phóng đại; hình chụp OCT chi tiết của các tế bào quang thụ thể sống; Ell cho thấy dạng ellipsoid của các quang thụ thể; RPE biểu mô võng mạc có sắc tố. Hình dưới: hình chụp cắt lớp OCT của tiếp hợp trong/ngoài của quang thụ thể (a), gai ở phần bên ngoài (c) thị trường được phóng đại (b). Các điểm sáng trong vòng tròn đứt nét cho thấy các tế bào quang thụ thể riêng lẻ. Mô tả (d) ở các độ sâu khác nhau cho thấy các vi cấu trúc bên trong võng mạc ở độ phân giải của tế bào. (© www.zmpbmt.meduniwien.ac.at/forschung/optical-imaging/advanced-imaging-technologies/)



HÌNH 146 Hình bên trái: hình ảnh chất lượng cao của võng mạc người sống chụp bằng kỹ thuật quang học thích ứng; hình bên phải: cùng một hình, với số đo độ nhạy của mỗi tế bào hình nón được cộng với nhau (© Austin Roorda).

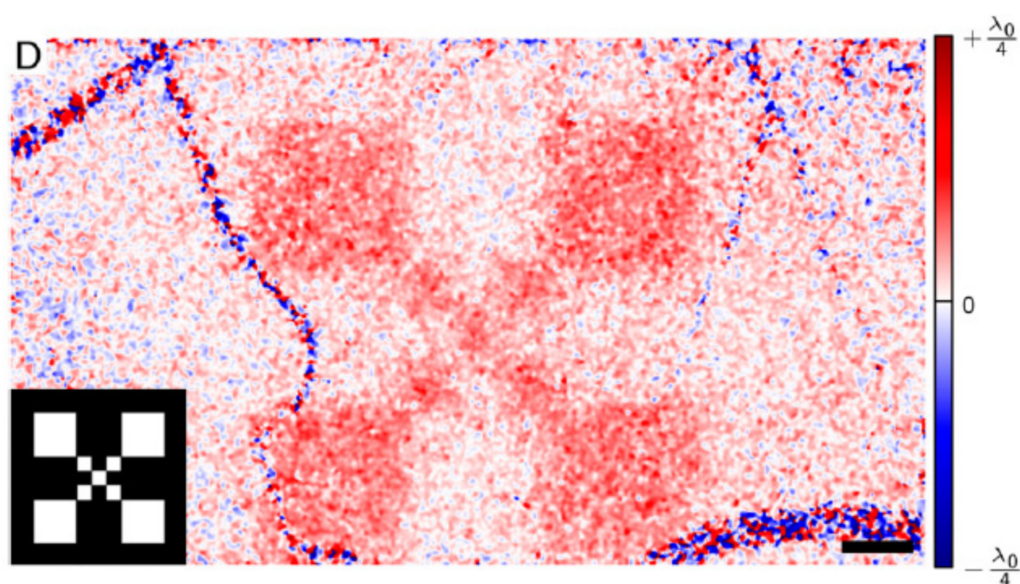
thấp để quét và tạo ra một môi trường tán xạ hình ảnh với độ sâu lên tới vài mm và độ phân giải tới vài µm. Kỹ thuật hiển vi này, được phát triển trong thập niên 1990, cho phép ta quan sát từng chi tiết của võng mạc, các lớp bên dưới nó và thiết diện của giác mạc và thuỷ tinh thể. Qua các hình ảnh chi tiết ghi được trong vài ms như ta thấy trong Hình 144, phép chụp cắt lớp quang điều hợp giúp công việc chẩn đoán của ta trở nên cực kỳ chính xác; nó đã tạo ra sự thay đổi sâu sắc trong nhãn khoa hiện đại. Những hình ảnh đầy mê hoặc của nhóm nghiên cứu về phép chụp cắt lớp quang điều hợp Đại học Vienna được trình bày trong Hình 145.

Phép chụp cắt lớp quang điều hợp cũng cho phép ta chụp ảnh da tới độ sâu khoảng 8 mm; điều này giúp cải thiện việc chẩn đoán bệnh ung thư da. Trong tương lai, kỹ thuật này cũng làm cho việc chẩn đoán bệnh của bác sĩ phụ khoa và bác sĩ tai mũi họng trở nên dễ dàng hơn. Các hệ nội soi cũng được phát triển. Phép chụp cắt lớp quang điều hợp đang trở thành tiêu chuẩn trong các ứng dụng công nghệ khác nhau.

Bước đột phá thứ nhì trong việc chụp ảnh mắt là kỹ thuật *quang học thích ứng*, một kỹ thuật, cũng được sử dụng trong thiên văn học, làm thay đổi nhanh và liên tục hình dạng của các thấu kính máy ảnh. Các ảnh đẹp nhất cho tới nay của võng mạc người *sống*, như ảnh trong Hình 146, đã được nhóm của David Williams và Austin Roorda Đại học Xem 143 Rochester ở New York thực hiện bằng cách sử dụng kỹ thuật hiện đại này. Họ đã sử dụng quang học thích ứng để bổ chính cho sự thay đổi hình dạng của thuỷ tinh thể trong mắt bệnh nhân.

Mắt người tạo ra cảm giác về màu sắc bằng cách cân bằng cường độ ánh sáng đến các tế bào hình nón nhạy với các màu đỏ, xanh và lục. Điều này giải thích cho khả năng Trang 125 nhận được cùng một ấn tượng về màu sắc, thí dụ như màu vàng, dù là từ một chùm laser vàng thuần tuý hay từ một hoà trộn thích hợp của 2 ánh sáng đỏ và lục.

Nhưng nếu ánh sáng chỉ hội tụ trên một tế bào hình nón, mắt sẽ cảm nhận sai. Bằng cách sử dụng quang học thích ứng ta có thể hội tụ chùm laser đỏ chỉ chạm vào tế bào



HÌNH 147 Sử dụng phép chụp cắt lớp quang điều hợp để chụp ảnh võng mạc sống, 247 ms sau khi mắt ngừng nhìn vào hình mẫu ở góc dưới bên trái. Ta có thể thấy dư ảnh trên võng mạc.(© PNAS)

hình nón lục. Trong trường hợp này, điều kỳ lạ sẽ xảy ra: mặc dù ánh sáng *màu đỏ*, mắt lại thấy *màu lục*!

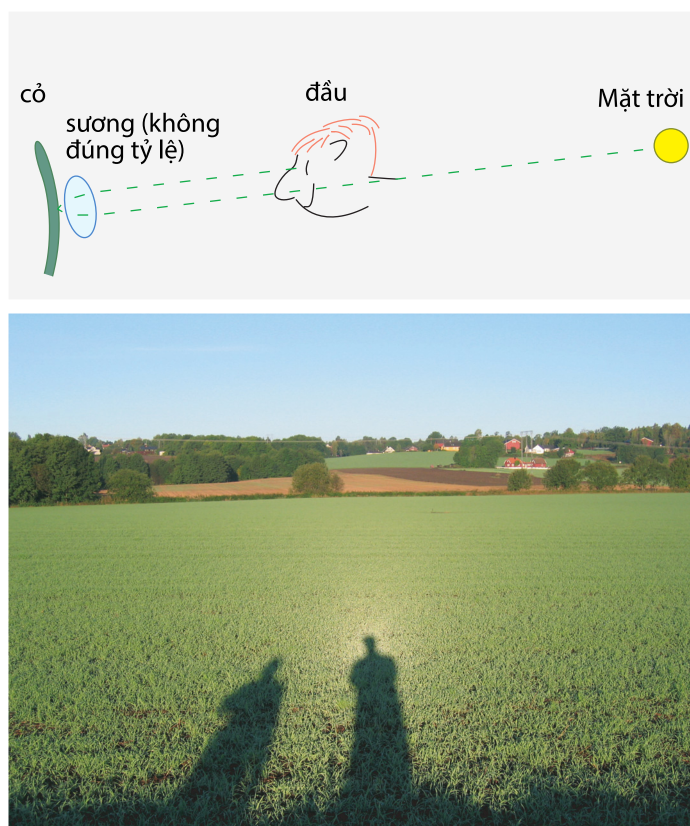
Cũng cần nói thêm, Hình 146 có đôi chút khác thường. Trong mắt người giống như mắt các loài động vật có xương sống, các mạch máu nằm *phía trước* tế bào hình nón. Tại sao chúng không xuất hiện trong hình? Và tại sao chúng không làm ta khó chịu trong Câu đố 174 s cuộc sống hằng ngày? (Hình này không cho thấy các *tế bào hình que*, vì chủ thể đang ở trong ánh sáng ban ngày; tế bào hình que chỉ làm chủ võng mạc lúc ban đêm và tạo ra ảnh đen trắng.)

Năm 2016, kỹ thuật *chụp cắt lớp quang điều hợp* (OCT) cho phép ta quan sát được những điều kỳ lạ hơn, như trong Hình 147. Việc quan sát võng mạc của người sống cho Xem 144 ta trông thấy những gì mà một người đang ngắm nhìn. Người ta chưa hiểu hết các chi tiết chính xác của tình trạng này; bằng cách này hay cách khác, các quang thụ thể được chiếu sáng có quang lộ khác với các thụ thể ở trong bóng tối.

Xem 145 Tóm lại, sự tiến hoá đã cho chúng ta một hệ quan sát có những tính chất phi thường. Bạn hãy chăm sóc chúng cho cẩn thận.

Cách chứng tỏ bạn là một người thần thánh

Sự phản xạ và khúc xạ ánh sáng tạo ra nhiều hiệu ứng đáng kinh ngạc. Biểu hiệu thần thánh của một người, có nguồn gốc từ Ấn Độ, hiện nay được sử dụng trên khắp thế giới là *hào quang*, còn được gọi là *quầng* hay *Heiligenschein*: một vòng ánh sáng bao quanh đầu. Bạn có thể thấy nó quanh đầu của bạn một cách dễ dàng. Bạn chỉ cần dậy sớm và nhìn vào thảm cỏ ướt trong khi quay lưng về phía Mặt trời. Bạn sẽ thấy hào quang quanh đầu mình. Hiệu ứng này bắt nguồn từ giọt sương sớm trên lá cỏ, phản xạ ánh sáng chủ yếu về phía nguồn sáng, như ta thấy trong Hình 148. Điều thú vị là nếu bạn thực hiện



HÌNH 148 Đường đi của ánh sáng đối với giọt sương trên cỏ tạo ra hào quang hay Heiligenschein và tấm ảnh cho ta thấy nó xuất hiện quanh đầu của một người (© Bernt Rostad).

Xem 146 điều này theo nhóm thì bạn chỉ thấy hào quang quanh đầu *của riêng bạn*.

Sơn phản quang cũng có cách hoạt động tương tự: nó chỉ chứa các hình cầu thuỷ tinh tí hon đóng vai trò của hạt sương. Một mặt sơn phản quang rộng thí dụ như biển báo Xem 147 giao thông, cũng có thể tạo ra hào quang cho bạn nếu nguồn sáng ở đủ xa. 'Sự phát sáng' của mắt mèo trong đêm cũng do hiệu ứng tương tự; bạn chỉ thấy nó khi bạn nhìn vào mắt mèo với nguồn sáng ở sau lưng bạn. Cũng cần hỏi thêm, (bộ phận) Mắt mèo có hoạt Câu đố 175 s động như mắt mèo không?

Hiển thị hình ảnh

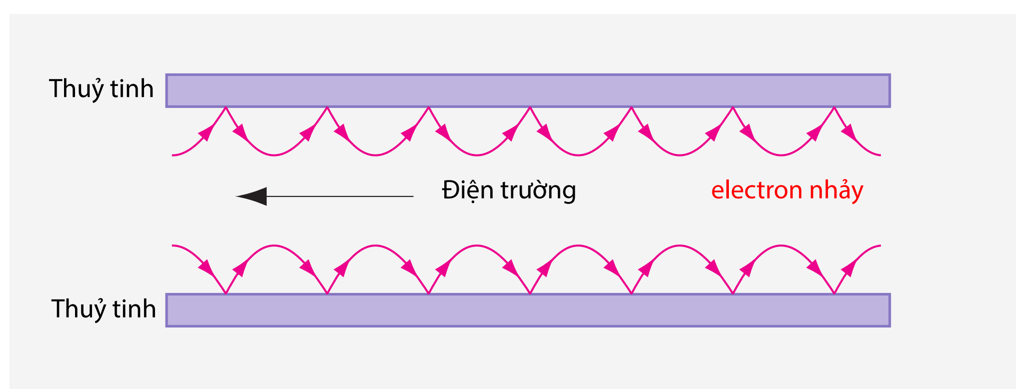
Các hệ thống hiển thị hình ảnh rất quan trọng trong các thiết bị kỹ thuật và ở mức độ ít quan trọng hơn, trong thiên nhiên. Trong thiên nhiên có 2 loại hiển thị: loại 1 được mực sử dụng ở những nơi nước cạn: chúng có thể tạo ra các hình màu chuyển động trên da và dùng nó để đánh lừa con mồi. Loại 2 được tìm thấy trong biển sâu, nơi không có ánh sáng: ở đó, nhiều sinh vật tạo ra các đèn sáng chuyển động để thu hút con mồi hay đánh lừa các dã thú.

Tóm lại, hình ảnh có thể được tạo ra bằng cách thay đổi màu sắc của bề mặt – hiển thị thụ động – hay bằng cách phát ra ánh sáng. Các hệ nhân tạo cũng có thể phân làm 2 loại như vậy.

Hiện nay, các màn hình thụ động phổ biến nhất là màn hình tinh thể lỏng – hay LCD



HÌNH 149 Một ống tia cathode trong TV đời cũ: cách đầu tiên – nay đã lỗi thời – để tạo ra các ảnh màu thay đổi bằng cách sử dụng tín hiệu điện. Đèn ống TV phát ra một chùm electron, làm lệch hướng nó và tạo ra ánh sáng bằng hiện tượng điện phát quang trên một màn ảnh màu phủ các điểm chất lân quang.



HÌNH 150 Electron tự do có thể nhảy dọc theo tường thuỷ tinh.

– và màn hình mực điện tử. Loại trước được sử dụng trong đồng hồ đeo tay và mobile phone, loại sau trong máy đọc sách điện tử.

Màn hình phát sáng phổ biến nhất là ống tia cathode đã lạc hậu, màn hình plasma, màn hình LED và màn hình chiếu. Các màn hình này phần lớn được sử dụng trong các thiết bị giải trí.

Electron nhảy và nỗi thất vọng lớn nhất trong công nghiệp TV

Ta đã biết khi một điện trường trong chân không hướng dọc theo một mặt thuỷ tinh, electron có thể *nhảy* dọc theo bề mặt đó. Hiệu ứng này được trình bày trong Hình 150; thường thì đây là một hiệu ứng ngoài ý muốn. Ngoài ra, hiệu ứng nhảy còn tạo ra tia lửa điện trong hệ chân không có hiệu thế cao. Để tránh hiệu ứng này thuỷ tinh cách điện trên các đường dây cao thế thường có hình dạng phức tạp.

Khi hiệu ứng này được nghiên cứu kỹ hơn thì hoá ra một điện trường nhỏ cũng đủ để tạo ra các dòng điện nhảy đáng kể trong ống thuỷ tinh có đường kính trong khoảng

1 mm. Điện trường này có thể hướng các electron đi quanh các chỗ uốn hay chỗ ngoặt. Ngoài ra, người ta có thể tạo ra các đảo điện làm đổi hướng nhảy. Tóm lại, hiệu ứng nhảy có thể được sử dụng để chế tạo các màn hình TV phẳng cực rẻ và hình ảnh có chất lượng cao. Ý tưởng ở đây là đặt một dãy nguồn electron – chủ yếu là các đầu kim loại nhọn – ở nơi bắt đầu của các kênh thuỷ tinh sát nhau. Mỗi kênh vận chuyển electron phát ra theo một vạch của màn hình. Bằng cách dùng các đảo điện thích hợp ở mỗi điểm Xem 148 ảnh, electron được điều khiển để chạm vào các điểm phát lân quang màu. Các điểm này cũng giống như các điểm ảnh trong các đèn hình TV cồng kềnh và nặng nề, đã được sử dụng trong màn hình plasma phẳng. Vì hiệu ứng nhảy cũng hoạt động quanh các chỗ uốn cong đồng thời chỉ cần thuỷ tinh và một ít kim loại nên cả hệ thống rất mỏng và nhẹ; hơn nữa, ta còn được máy móc rẻ, hiệu suất cao và giá thành sản phẩm thấp. Trong đầu thập niên 1990, các mẫu màn hình electron nhảy thử nghiệm đã đạt được chất lượng tuyệt vời: màn hình nhỏ sáng hơn, sắc nét hơn và rẻ hơn LCD; màn hình lớn thì sáng hơn, sắc nét hơn và rẻ hơn màn hình plasma. TV màn hình phẳng đã xuất hiện.

Bây giờ tới chỗ thất vọng. Thời gian hoạt động của màn hình chỉ vào khoảng vài trăm giờ. Giới hạn này bắt nguồn từ nhu cầu sử dụng helium trong màn hình, là chất khí không thể lưu giữ trong hệ chân không quá lâu. Dù đã miệt mài nghiên cứu các vật liệu, người ta vẫn chưa thể tăng thời gian này lên. Mọi thủ thuật đều vô ích. Dù có ưu điểm hấp dẫn, dù có sự đầu tư khổng lồ về công nghệ, dù đã có nhiều nghiên cứu để tìm ra vật liệu tốt nhất, màn hình electron nhảy vẫn chưa xuất hiện trên thị trường. Người ta vẫn chưa bán được một màn hình nào.

Các câu đố vui và lạ về hình ảnh và mắt

Một cảm biến hình ảnh không cần thấu kính. Rắn lục (hay rắn hốc Wagler) có 2 cảm biến hồng ngoại – mà ta thấy 1 cái trong Hình 151 – có độ phân giải 40x40 điểm ảnh, và nó chỉ có một cái hố thay vì thấu kính. Rắn lục sử dụng các cảm biến này để bắt chuột ngay cả trong bóng đêm. Nhiều nhóm nghiên cứu đã tìm hiểu và mô phỏng hoạt động của cảm biến hồng ngoại này. Bây giờ ta đã biết cách cảm biến này thu thập dữ liệu, cách Xem 149 não rắn tái tạo hình ảnh và cách cảm biến đạt được độ phân giải cao.

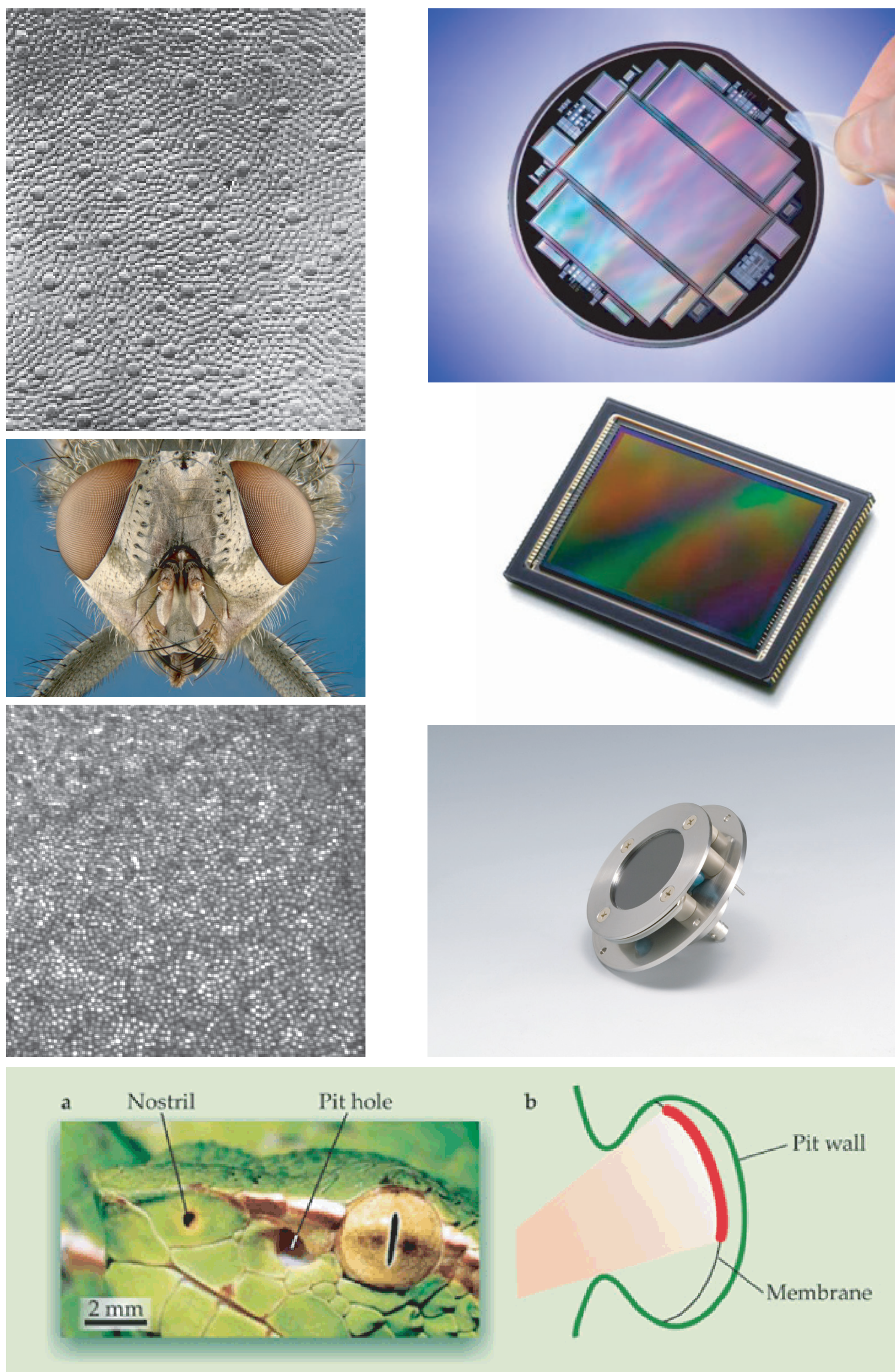
* *

Hệ tạo ảnh đơn giản nhất là mắt kính. Một đứa trẻ không có kính thích hợp sẽ bỏ lỡ một trải nghiệm quan trọng: nhìn thấy các ngôi sao. Nó sẽ không hiểu câu nói nổi tiếng của Immanuel Kant: 'Hai điều tràn ngập tâm tư, cùng với sự ngưỡng mộ và kính phục luôn luôn mới mẻ và gia tăng theo sự suy ngẫm về chúng một cách kiên trì và thường xuyên, đó là: bầu trời đầy sao trên đầu tôi và quy luật đạo đức ở trong tôi.' Hãy bảo đảm là trẻ em luôn có thể nhìn thấy các ngôi sao.

Hai thấu kính, mỗi cái 40 xu không đủ để làm thay đổi cuộc đời của một đứa trẻ hay một người trưởng thành. Hãy ghé thăm website www.onedollarglasses.org để có một cách hiệu quả nhằm thực hiện điều này trên khắp thế giới.

* *

Giữa các bức ảnh thiên nhiên ấn tượng nhất là các ảnh tìm thấy ở www.microsculpture.net; chúng cho ta thấy các con bọ cánh cứng với độ phân giải cực cao. Mỗi hình con bọ là một sự hợp thành của nhiều ngàn tấm ảnh có độ phân giải cao thông thường. Chúng



HÌNH 151 Một tập hợp các bộ cảm biến hình ảnh – các hệ điểm ảnh: võng mạc của mắt mèo, cảm biến CCD vẫn còn nằm trên tấm bán dẫn, mắt ruồi, cảm biến CMOS, võng mạc của mắt người, anode đa kênh, hố hồng ngoại của rắn lục (© Wikimedia, Austin Roorda, Hamamatsu Photonics, Guido Westhoff/Leo van Hemmen).

Câu đố 176 e cung cấp một cảnh tượng lộng lẫy – hãy thưởng ngoạn nó.

* *

Câu đố 177 ny Mắt hiệu chỉnh các các sai hỏng của điểm ảnh (quang thụ thể) như thế nào? Có bao nhiêu điểm ảnh không tốt trong một mắt bình thường?

* *

Ta có thể nhìn thấy ánh sáng hồng ngoại, nếu cường độ của nó đủ mạnh. (Đừng bao giờ thử nhìn!) Người quan sát các nguồn sáng như vậy – thí dụ như laser bán dẫn – sẽ thấy nó như 1 chấm trắng viền đỏ. Trong các trường hợp khác, người ta có thể nhìn thấy các xung hồng ngoại ngắn thông qua sự hấp thu 2 photon trong võng mạc; trong cách này, tia hồng ngoại 1000 nm tạo ra các chớp màu lục trong mắt.

* *

Giữa các loài động vật có xương sống, mắt của cá voi xanh là lớn nhất; nó có đường kính 150 mm. (Chỉ có mực là có mắt lớn hơn.) Mắt nhỏ nhất hình như là mắt của *Brookesia micra*, tắc kè mới sinh, có đầu bằng nửa đầu que diêm và đường kính của mắt khoảng 0.3 mm.

Mắt là một cơ quan kỳ diệu. Để hiểu rõ về nó, hãy đọc quyển sách giá trị của Simon Ings, *The Eye – A Natural History*, Bloomsbury, 2007.

* *

Trong nhiều ứng dụng, điều quan trọng là tránh phản xạ. Lớp phủ chống phản xạ trên kính cửa sổ và trong các hệ thấu kính cần làm việc trong điều kiện ánh sáng yếu hay ít ánh sáng. Những lớp phủ như vậy thường là các lớp phủ giao thoa làm bằng các lớp vật liệu trong suốt khác nhau kết lắng trên bề mặt của vật. Có những sinh vật có lớp phủ chống phản xạ; mắt của con ngài nổi tiếng vì có màu đen trong ánh sáng ban ngày. Chúng đen vì không phản xạ ánh sáng và giúp cho con ngài ẩn mình trước các con thú ăn thịt chúng. Tuy vậy, mắt ngài dùng một hiệu ứng khác để tránh phản xạ: bề mặt của chúng có phủ các cột lục giác cao khoảng 200 nm. Ta cũng gặp hiệu ứng tương tự ở bướm cánh gương, *Greta oto*, có cánh trong suốt như thuỷ tinh và không phản xạ. Nhiều công ty đang cố gắng tái tạo *hiệu ứng mắt ngài* trong các ứng dụng thương mại, thí dụ như các tế bào quang điện.

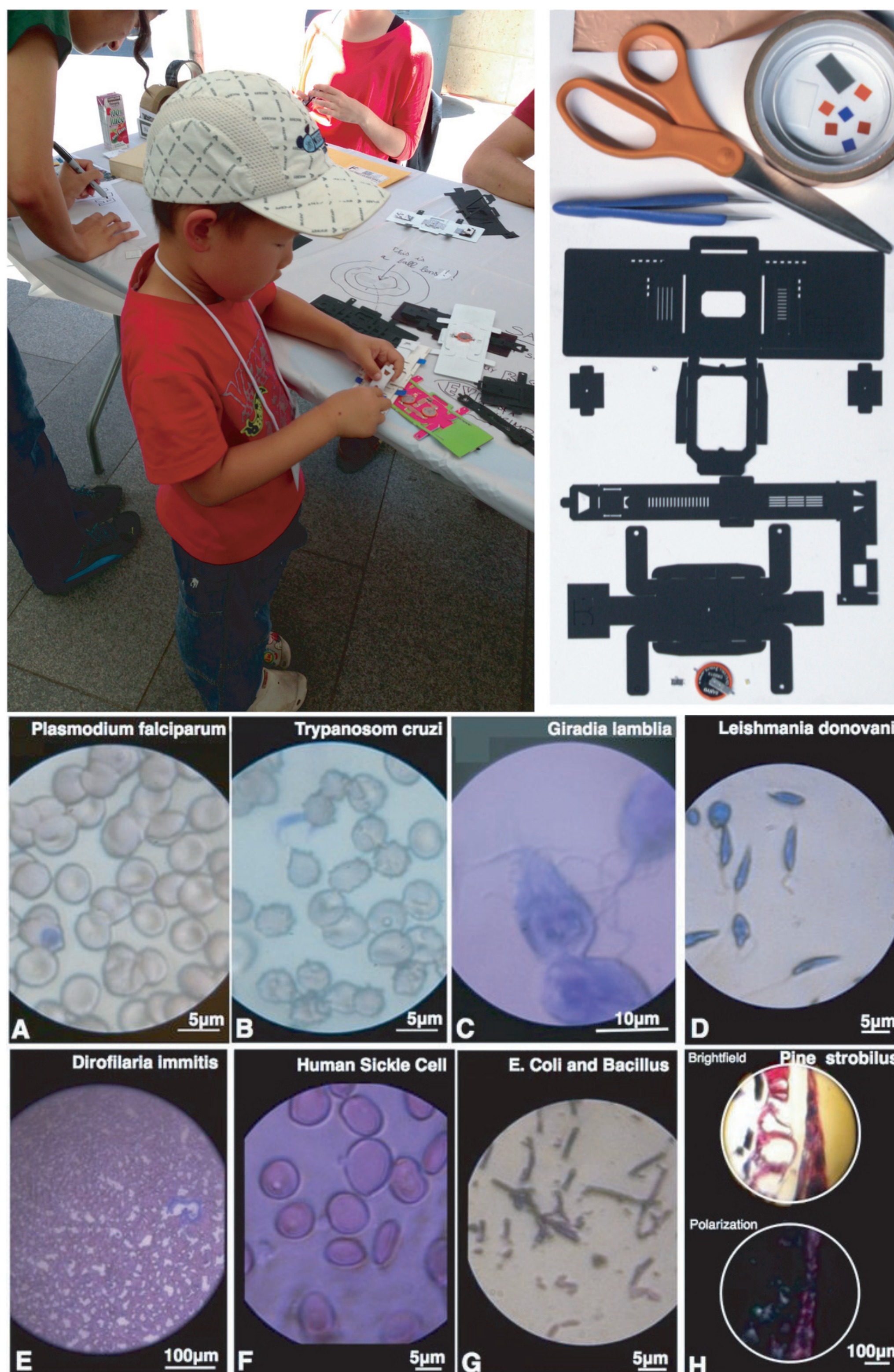
* *

Công nghệ hiện đại giúp ta tạo ra các kính hiển vi giá thành thấp. Để có một thí dụ thú vị Xem 150 ta hãy xem kính hiển vi 1 Euro được gấp từ một mảnh giấy, ghép với vài thiết bị bổ sung và được trình bày trong Hình 152. Thiết bị này được sử dụng bằng cách giữ nó trước mắt hay trước một ngọn đèn và quan sát ảnh được chiếu trên một màn ảnh.

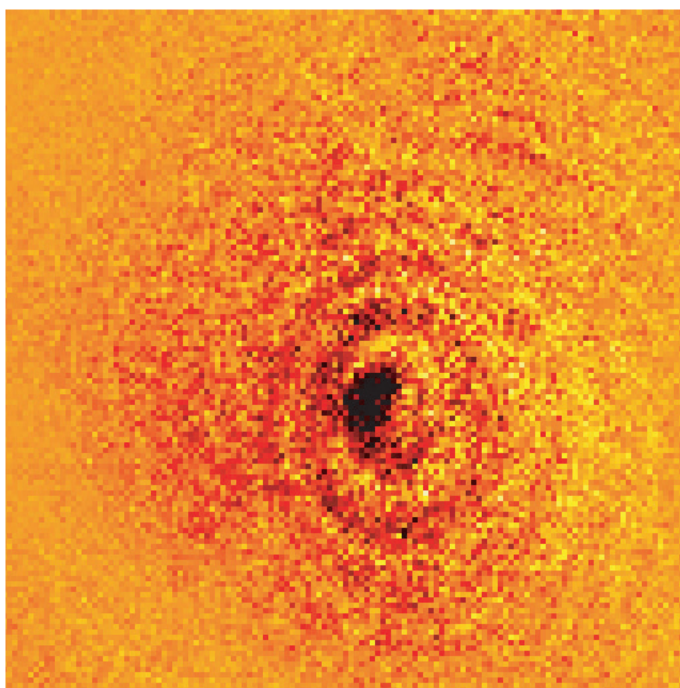
* *

Nếu có đủ số hình, ta có thể nhận dạng được máy ảnh chụp chúng. Mỗi máy ảnh có một kiểu thức nhiễu ảnh riêng; bằng cách tách nó ra nhờ một thuật toán tính trung bình thông minh, phần mềm xử lý ảnh có thể trợ giúp cho việc điều tra của cảnh sát.

* *



HÌNH 152 Hình trên: sự chế tạo và các phần của kính hiển vi phẳng bằng giấy bìa, sử dụng trong y học, tại các quốc gia đang phát triển; hình dưới: hình ảnh do các kính hiển vi này tạo ra (© Foldscope team at www.foldscope.com).



HÌNH 153 Bóng của một ion ytterbium lơ lửng trong một bẫy ion và được chiếu sáng bằng laser; kích thước của hình khoảng 16 µm theo cả 2 hướng (© Dave Kielpinski).

Ảo tượng thường có các hiệu ứng đáng ngạc nhiên. Năm 1597, một nhóm thuỷ thủ bị Xem 151 mắc cạn tại Novaya Zemlya trong mùa đông. Vào ngày 24/01 họ thấy Mặt trời – khoảng 2 tuần trước khi nó xuất hiện ở đó. Cảnh tượng khác thường như vậy được gọi là hiệu ứng Novaya Zemlya.

* *

Người ta có thể đo bề rộng của một sợi tóc bằng bút trình chiếu laser không và đo như Câu đố 178 s thế nào?

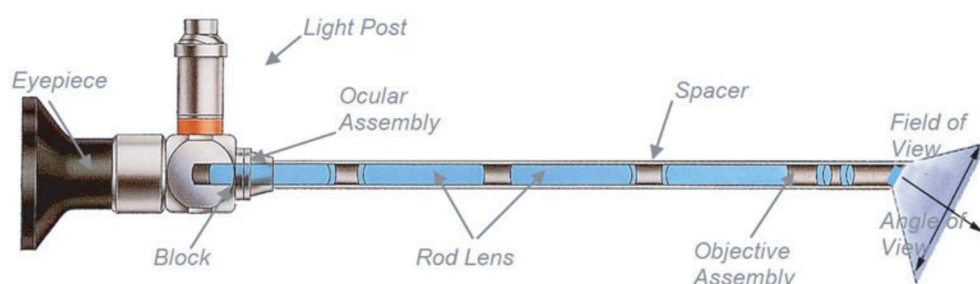
* *

Kỹ thuật chụp ảnh hiện đại có độ nhạy và độ phân giải không gian cao. Như ta thấy trong Xem 152 Hình 153, bằng cách sử dụng thấu kính Fresnel, một cảm biến CCD lạnh và một nguồn sáng laser, người ta có thể chụp ảnh bóng của một ion lơ lửng.

* *

Một thiết bị quan trọng trong y khoa là *máy nội soi*. Một máy nội soi như trong Hình 154, sẽ giúp ta nhìn vào trong các khoang của cơ thể qua một lỗ rất nhỏ. Nó là một ống kim loại, thường có đường kính khoảng 5 mm và dài 300 mm. Bạn có thể chế tạo một cái như Câu đố 179 e vậy không? (Thiết bị phải trải qua ít nhất 150 chu kỳ khử trùng trong nồi hấp; mỗi chu kỳ ở nhiệt độ 134°C, áp suất 3 bar trong 3 giờ.) Được tạo thành từ một dãy thấu kính hình trụ được thiết kế cẩn thận, máy nội soi giúp bác sĩ nhìn vào cơ thể xuyên qua một lỗ rất nhỏ, tránh được vết cắt rộng gây ra nguy hiểm khi phẫu thuật. Máy nội soi đã cứu sống nhiều người và việc sản xuất, phát triển chúng là một ngành công nghiệp lớn.





HÌNH 154 Máy nội soi do Hopkins phát minh, trong đó có các thanh thấu kính cho ta một thị trường rộng và độ sáng cao – càng lớn nếu chiết suất thuỷ tinh càng cao (© Karl Storz).

* *

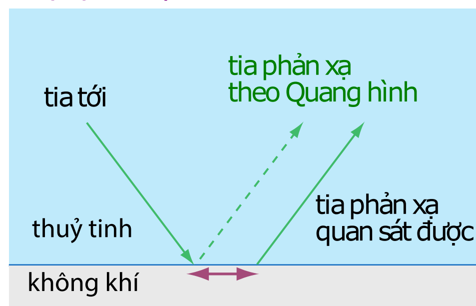
Mắt chúng ta chỉ có thể nhìn thấy Mặt trời trong phạm vi 50 năm ánh sáng. Điều này có đúng không? Câu đố 180 s

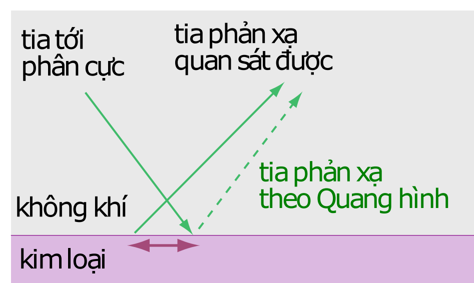
* *

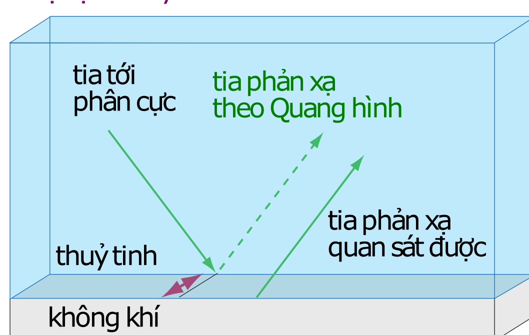
Xem 153 Cỏ phía bên kia rào thường có màu xanh hơn. Bạn có thể giải thích điều này dựa trên sự quan sát hay không? Câu đố 181 s

* *

Người ta nói rằng các thiên văn gia có các kính thiên văn mạnh đến nỗi họ có thể thấy







HÌNH 155 Sự dịch chuyển Goos-Hänchen và các độ lệch khác với độ lệch quang hình: trong hiện tượng phản xạ toàn phần, chùm ánh sáng phản xạ bị lệch nhẹ khỏi vị trí được dự đoán; trong sự phản xạ trên kim loại, độ lệch còn nhiều hơn.

Câu đố 182 s một người đang đốt một que diêm trên Mặt trăng. Điều này có đúng không?

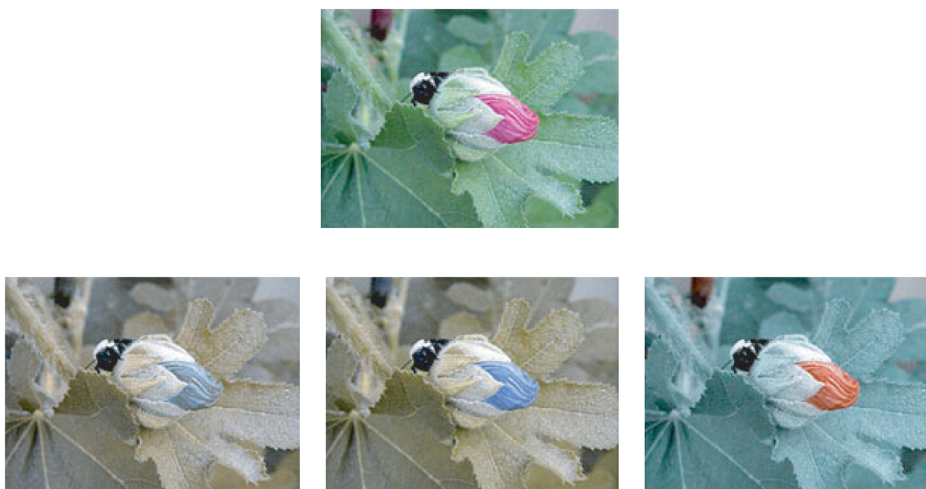
* *

Sự khúc xạ toàn phần là một hiện tượng thú vị nhưng nó có nhiều chi tiết hấp dẫn hơn. Năm 1943 Fritz Goos và Hilda Hänchen chứng tỏ rằng chùm phản xạ bị dịch chuyển nhẹ; nói cách khác, chùm phản xạ thực sự bị phản xạ bởi mặt phẳng nằm *sau* mặt phân cách. *Sự dịch chuyển Goos-Hänchen* này có thể lớn cỡ vài bước sóng và bắt nguồn từ sóng chạy phù du trong một môi trường mỏng hơn.

Xem 154 Thực ra các nghiên cứu gần đây còn phát hiện ra nhiều điều còn thú vị hơn. Khi người ta tìm hiểu sự phản xạ với độ chính xác cao thì phát hiện ra là ánh sáng không phản xạ đúng ngay vị trí mong đợi: có một độ dịch chuyển ngang, *sự dịch chuyển Imbert–Fedorov* và ngay cả góc phản xạ cũng khác. Sự khác thường phụ thuộc vào sự phân cực của chùm, độ phân kỳ của chùm và tính chất của vật liệu tạo nên lớp phản xạ. Các thí nghiệm này có thể được xem như là các hiệu ứng bậc cao của Thuyết trường lượng tử; chúng vẫn còn được nghiên cứu.

* *

Vật liệu hấp thu ánh sáng mạnh thì cũng phát xạ mạnh. Như vậy tại sao dưới ánh Mặt trời cửa sơn màu tối nóng hơn cửa sơn màu trắng? Lý do là sự phát xạ xảy ra ở bước



HÌNH 156 Màu thiên nhiên (hình trên) thay đổi theo 3 loại khuyết sắc: khuyết sắc lục, khuyết sắc đỏ và khuyết sắc lam (© Michael Douma).

sóng nhỏ hơn ánh sáng khả kiến; đối với nhiệt độ và tình trạng thông thường, sự phát xạ nằm trong khoảng 10 μm. Ở bước sóng đó, mọi loại sơn hầu như đen với độ phát xạ khoảng 0.9, bất kể màu sắc. Và tương tự như khi bạn sơn lò sưởi trong nhà thì màu sắc không quan trọng.

* *

Xem 155
Khi 2 chùm laser giao nhau dưới một góc nhỏ chúng có thể tạo ra những xung ánh sáng hình như chuyển động nhanh hơn ánh sáng. Điều này có mâu thuẫn với Thuyết tương đối đặc biệt không?
Câu đố 183 s

* *

Chứng khiếm sắc thị đã được khoa học gia vĩ đại John Dalton (b. 1766 Eaglesfield, d. 1844 Manchester)– khám phá trên chính mình. Bạn có thể tưởng tượng được cách ông tự khám phá không? Nó ảnh hưởng, dưới nhiều dạng, tới 1/20 đàn ông. Trong nhiều ngôn ngữ, người bị khiếm sắc thị được gọi là *daltonic*. Phụ nữ hầu như không bao giờ bị khuyết sắc vì tính chất này liên kết với các khiếm khuyết trên nhiễm sắc thể X. Nếu bạn là người khuyết sắc, bạn có thể kiểm tra xem mình thuộc loại khuyết sắc nào nhờ Hình 156. (Nhiễm sắc thể X cũng là nguồn gốc của những phụ nữ tứ sắc đã đề cập ở trên.)
Câu đố 184 s
Xem 156
Trang 194

* *

Khuyết sắc nhân tạo có thể tạo ra bằng cách chiếu sáng. Thí dụ như ánh sáng tím được sử dụng để làm giảm sự tiêu thụ thuốc tiêm, vì nó không cho ta tìm thấy tĩnh mạch dưới da.

Tăng cường tương phản nhân tạo bằng chiếu sáng cũng hữu ích. Ánh sáng hồng được các chủ mỹ viện sử dụng làm nổi bật các vết bẩn để có thể tẩy da thật sạch. Năm 2007, sĩ quan cảnh sát Mike Powis ở Nottingham đã khám phá ra ‘ánh sáng mụn trứng cá’ này

có thể được sử dụng để là giảm sự phạm pháp; vì mụn trứng không hợp thời trang, ánh sáng hồng ngăn chặn thanh niên tụ họp và như vậy ổn định môi trường có ánh sáng đó.

Ánh sáng vàng được siêu thị sử dụng để làm tăng doanh số trái cây và rau cải. Dưới ánh sáng vàng, cà chua trông đỏ hơn và salad nhìn xanh hơn. Tự kiểm tra: bạn sẽ không tìm thấy siêu thị nào không sử dụng ánh sáng này trên trái cây và rau cải. Câu đố 185 e

* *

Các chùm ánh sáng phát ra từ laser thường được xem như các đường mảnh. Tuy vậy, các chùm ánh sáng cũng có thể là *các ống*, với cường độ sáng ở trong nhỏ hơn ngoài rìa. Các chùm laser ống, tức là chùm Bessel bậc cao, được sử dụng trong các thí nghiệm nghiên cứu hiện đại để hướng dẫn các kênh và tia chớp plasma.

* *

Người ta có thể thấy ngôi sao từ đáy một hang hay giếng sâu vào lúc ban ngày như thường nói hay không? Câu đố 186 s

* *

Xem 157 Người là loài linh trưởng *duy nhất* có mắt *trắng*. Mọi loài khỉ đều có mắt *nâu* nên không thể nhìn thấy theo hướng đang nhìn. Khỉ tận dụng điều này: chúng thường quay đầu theo một hướng, giả vờ nhìn cái gì đó, nhưng đảo mắt về hướng khác. Nói cách khác, mắt nâu hữu dụng cho sự lường gạt. Người có thể đạt được điều tương tự bằng cách đeo kính đen. Vì vậy nếu bạn thấy ai đeo kính mát khi không có ánh mặt trời, bạn biết rằng họ hành xử như những con khỉ.

Khỉ dùng mánh khoé này để ve vãn bạn tình không nhận ra sự theo đuổi của chúng. Kính mát là công cụ của sự bất lương.

* *

Câu đố 187 s Làm cách nào để bạn có thể đo được công suất Mặt trời khi nhắm mắt?

* *

Ngay trong đêm tối không trăng sao, một cánh rừng không tối hoàn toàn. Bạn có thể thấy các nấm phát quang (có trên 70 loài khác nhau), mốc phát quang, các tia lửa điện khi cởi áo thun, khi bạn cắn một viên kẹo bạc hà, khi bạn mở một cuộn băng keo hay một bức thư.

* *

Câu đố 188 d Bạn có thể tạo ra tia X bằng một cuộn băng keo như thế nào?

* *

Số quang ảo thì nhiều vô kể và có nhiều website mất thì giờ cho đề tài này. Các film cũng thường sử dụng *phòng Ames* để biến đổi diễn viên thành người lùn. Nó được trình bày trong Hình 157.

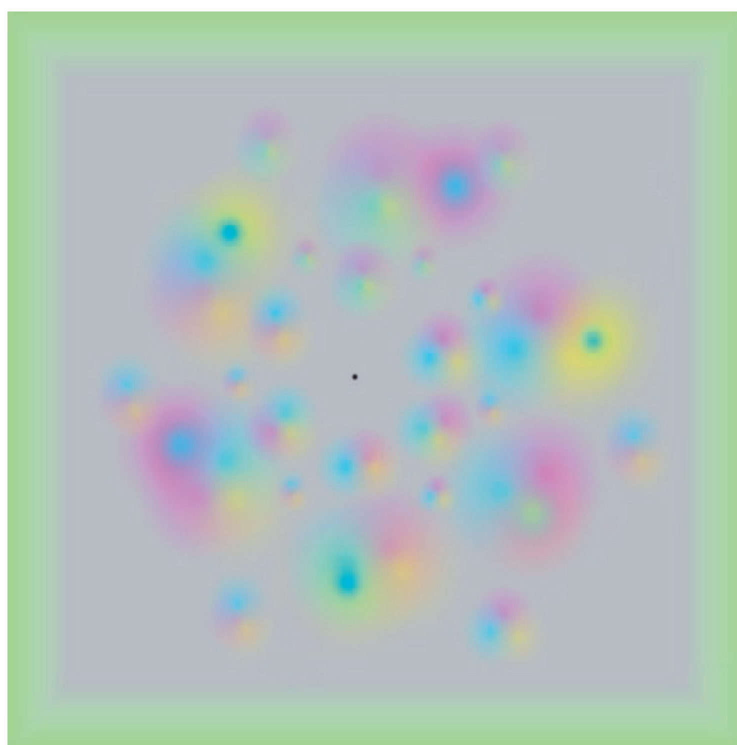
* *

Não bộ rất quan trọng trong nhiều mặt của thị giác. Hoá ra não và mắt làm cho màu *biến mất* như ta thấy trong Hình 158. (Hiệu ứng này chỉ xảy ra với ấn bản màu của hình.) Thí





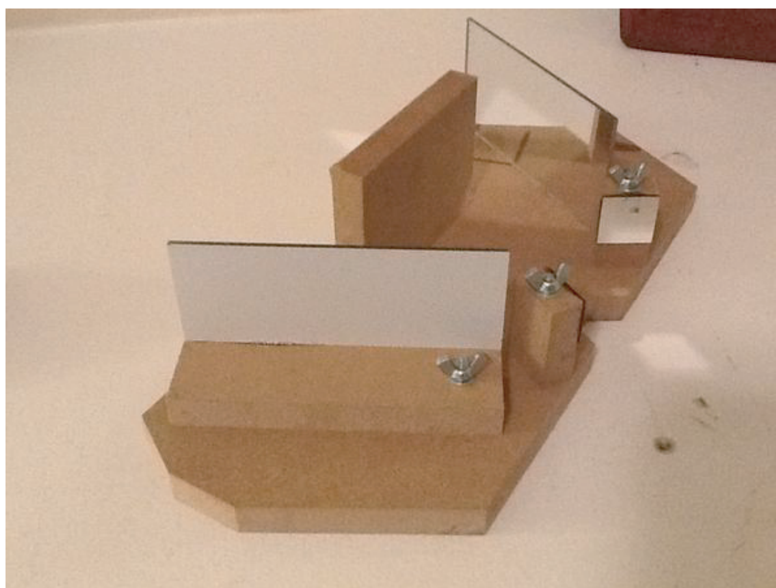
HÌNH 157 Phòng Ames ở Paris và ở San Francisco (© Sergio Davini, David Darling).



HÌNH 158 Hãy nhìn vào điểm trung tâm trong 20 s: các màu sắc sẽ biến mất (© Kitaoka Akiyoshi).

dụ này được trích từ bộ sưu tập đầy mỹ thuật về ảo thị tại trang www.psy.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/color9e.html. Nhiều ảo thị có liên quan dựa trên hiệu ứng này sử dụng các chấm màu chuyển động.

Não cũng có thể hiệu chỉnh rất nhanh *sự biến dạng* của thị trường do kính tạo ra. Điều ấn tượng hơn là não còn có khả năng bổ chính cho *tật mắt nghiêng* là sự quay của mắt quanh trục trước-sau; khi ta nằm xuống, góc quay là từ 2 tới 14 độ, so với hướng lúc đứng. Góc này phụ thuộc tuổi và sự căng thẳng tâm trạng; nó quay mỗi mắt theo các hướng ngược nhau.



HÌNH 159 Nhìn xuyên qua một pseudoscope làm thay đổi nhận thức về chiều sâu của chúng ta (© Joshua Foer).

* *

Nếu bạn muốn trải nghiệm mức độ cần thiết của não đối với thị giác lập thể, bạn hãy chế tạo và nhìn qua một *pseudoscope*. Nó có 4 gương hay 2 lăng kính để hoán vị hai ảnh của mắt trái và phải. Một thí dụ được trình bày trong Hình 159. Bạn sẽ thấy vật lõm thành
Câu đố 189 e
lồi và cảm giác về chiều sâu sẽ trở nên sai lạc. Hãy thưởng thức cảm giác này.

* *

Các thiết bị đảo ngược hình ảnh còn làm ta kinh ngạc hơn. Chúng được làm từ các gương hay 2 lăng kính Dove. Điều thú vị là sau khi mang chúng một lúc, não sẽ đảo hình trở lại cho đúng hướng.

* *

Chụp ảnh bằng tia X ấn tượng đến nỗi nó trở thành một hình thức nghệ thuật. Một trong những nghệ nhân tia X đầu tiên là Nick Veasey và 2 tác phẩm của ông được trình bày trong Hình 160. Ngoài ra ông cũng đã chụp ảnh X quang của xe buýt và phi cơ.

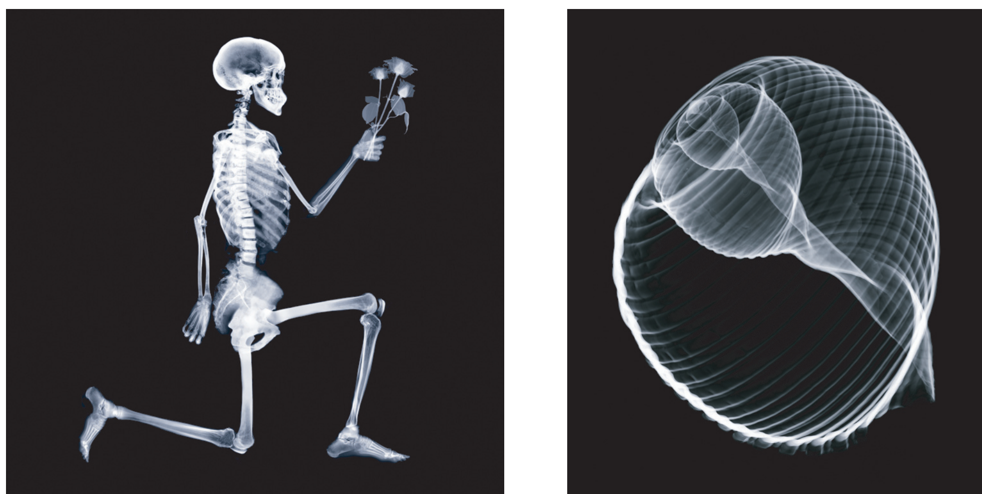
* *

Thấu kính là thành phần quan trọng nhất của các quang hệ. *Công thức gần đúng của thấu kính mỏng* giữa tiêu cự f, khoảng cách của vật o và khoảng cách của ảnh i là

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{o} + \frac{1}{i} \,. \qquad (81)$$

Câu đố 190 e
Công thức trên rất dễ chứng minh bằng cách vẽ các tia sáng.

Nếu bạn đã từng thiết kế thấu kính, bạn sẽ muốn biết mối liên hệ giữa hình dạng và tiêu cự của nó. Hoá ra có 2 loại thấu kính: loại thứ nhất là thấu kính *cầu* rất dễ chế tạo



HÌNH 160 Vẻ đẹp của tia X: các ảnh X quang của một người (chụp với một tử thi) và một vỏ sò (© Nick Veasey).

và rất rẻ nhưng hình dạng của nó không được hoàn hảo. Loại thứ nhì là thấu kính *phi cầu*, khó chế tạo, đắt tiền, nhưng cho hình ảnh có chất lượng cao hơn. Quang hệ chất lượng cao luôn luôn có các thấu kính phi cầu.

Vì các lý do lịch sử đa số các sách đều hướng dẫn độc giả hệ thức gần đúng giữa bán kính cầu của thấu kính, chiết suất n và tiêu cự f:

Câu đố 191 e

$$\frac{1}{f} = (n-1)(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}) . \qquad (82)$$

Công thức này được gọi là *công thức của người làm kính*. Phần lớn các thấu kính phi cầu gần đúng là hình cầu nên có thể xem công thức này là ước tính gần đúng bậc nhất.

* *

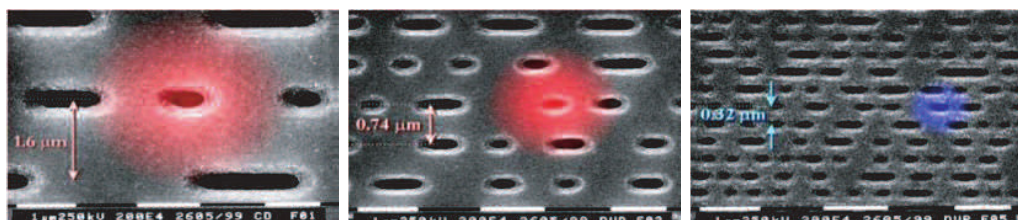
Chụp ảnh là một phần quan trọng trong công nghiệp hiện đại. Nếu không có máy in laser, máy photocopy, máy đọc CD, DVD, kính hiển vi, máy ảnh kỹ thuật số, máy quay film, máy khắc hình để sản xuất mạch tích hợp, kính viễn vọng, đèn chiếu film, thế giới của chúng ta sẽ rất chán. Ngày nay, việc thiết kế các quang hệ được thực hiện với sự trợ giúp của các bộ phần mềm chuyên dụng. Chúng tính toán chất lượng hình ảnh, tác dụng của nhiệt độ, dung sai với độ chính xác cao. Mặc dù công việc hấp dẫn nhưng số chuyên gia trong lĩnh vực này vẫn đang thiếu hụt trên khắp thế giới.

Xem 111

* *

Vẫn có thêm các loại máy quay film đang được phát triển. Thí dụ như máy ảnh có chiều sâu, máy ảnh quét laser, máy quay video tử ngoại, máy quay video đo độ phân cực và máy quay video hồng ngoại. Các máy sau sẽ có trên xe hơi để nhận ra người và động vật từ bức xạ nhiệt do các đối tượng đó phát ra giúp ta tránh được tai nạn.

* *



CD
Khoảng cách track 1.6 µm
Chiều dài pit 0.8 µm

DVD
Khoảng cách track 0.74 µm
Chiều dài pit 0.4 µm

Blue Ray Disk
Khoảng cách track 0.32 µm
Chiều dài pit 0.15 µm

HÌNH 161 Một bộ các bức ảnh của các track và điểm laser trong một ổ đĩa đang đọc một CD, một DVD và một đĩa blue ray (© Wikimedia).

Ảnh màu tốt nhất mà ngày nay người ta có thể tạo ra là gì? Hiện nay, ảnh trên giấy có chất lượng khá có khoảng 400 chấm/mm hay các chấm có kích thước khoảng 2.5 µm. Cực đại trên lý thuyết là bao nhiêu? Bạn sẽ nhận thấy rằng nhiều nhóm nghiên cứu không nghiêm túc tuyên bố đã tạo ra ảnh màu có độ phân giải lớn hơn cực đại lý thuyết.

Câu đố 192 e

* *

Chụp ảnh bằng siêu âm thường được sử dụng trong y khoa. Như đã nói trước kia, không may là cách chụp ảnh này không an toàn cho thai nhi. Như vậy *Chụp ảnh bằng siêu âm* không phải là một phương pháp chụp ảnh quang học nhưng có phải là một loại chụp cắt lớp không?

Quyển I, trang 312

Câu đố 193 e

* *

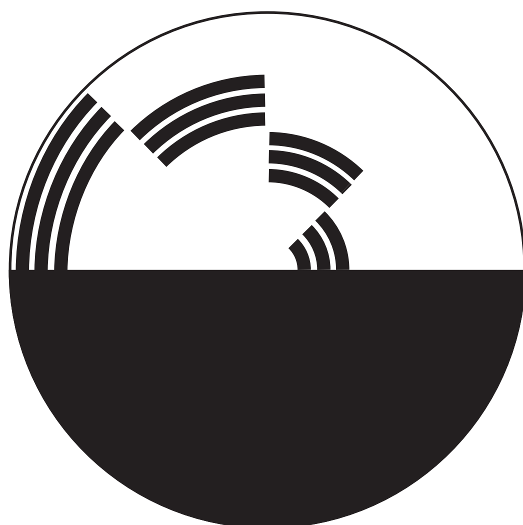
Máy ảnh, pin và máy phát vô tuyến CMOS đã trở nên nhỏ đến nỗi ta có thể tích hợp chúng thành một bộ có kích thước của một viên thuốc. Máy ảnh như vậy có thể nuốt được và với các điện cực gắn vào thắt lưng người, ta có thể ghi hình của ruột trong khi người đó vẫn có thể hoạt động bình thường.

* *

Các quang hệ *phổ biến* là các hệ được tìm thấy trong các ổ đĩa CD, DVD. Nếu bạn có cơ hội tháo rời một ổ đĩa, hãy làm điều đó. Chúng là các mảnh kỳ diệu của công nghệ trong đó mỗi mm khối đã được hàng trăm kỹ sư tối ưu hoá. Bạn có thể hình dung ra cách hoạt động của một máy đọc CD hay DVD từ các bức ảnh trong Hình 161 không?

* *

Các quang hệ *đắt tiền* nhất không phải là các hệ trên các vệ tinh gián điệp – hệ có thể đọc tiêu đề của một tờ báo từ không gian – mà là các quang hệ tìm thấy trong wafer stepper. Wafer stepper là máy được sử dụng để chế tạo các mạch tích hợp điện tử. Trong những máy như vậy, một mặt nạ kim loại được chiếu bằng laser tử ngoại 193 nm, lên trên một đĩa silic có phủ chất cản quang. Quang hệ được sử dụng có kích thước của một người trung bình, có độ chính xác đến vài nm và có giá hơn 6 triệu Euro một bộ. Các vật kính đối với tia tử ngoại đắt hơn gấp 10 lần. EUV stepper có lẽ là một hệ thống công nghiệp



HÌNH 162 Một trong nhiều loại bánh xe Benham. Quay nó bằng một con quay, một máy đọc CD hay một máy khoan là cách đơn giản nhất để tạo ra các màu Fechner, tức là các màu giả xuất hiện từ các kiểu thức đen trắng đứt đoạn.

táo bạo nhất mà ta đã từng biết.

* *

Câu đố 194 e
Bạn có thể mua các kính cửa sổ trong suốt có khả năng chuyển sang trong mờ và ngược lại – từ kính trong thành màu sữa và ngược lại – bằng cách dùng một cái đảo điện. Chúng hoạt động như thế nào?

* *

Một bánh xe quay được tô bằng các kiểu thức đen trắng đặc biệt như trong *bánh xe Benham*, sẽ tạo ra hiệu ứng màu giả trong mắt. Điều không may là video của hiệu ứng không chạy trong file pdf như video trong quyển sách này; thay vào đó bạn hãy ghé thăm website của Kenneth Brecher tại lite.bu.edu/vision/applets/Color/Benham/Benham.html hay lite.bu.edu/vision-flash10/applets/Color/Benham/Benham.html. Màu giả có thể được tạo ra bằng cách nhấp nháy các hình đơn sắc trên màn hình máy tính. Các màu giả này chủ yếu bắt nguồn từ thời gian đáp ứng khác nhau của các tế bào hình nón đỏ, lục và lam.

* *

Xem 158
Kích thước mắt của động vật hữu nhũ phụ thuộc tốc độ chạy lớn nhất của chúng. Sự phụ thuộc này đã được kiểm chứng cho 50 loài khác nhau. Điều thú vị là sự tương quan không đúng đối với tốc độ bay của chim.

* *

Trẻ bơi nhiều dưới nước có thể học tập để trở nên *thông minh* trong khoảng 10 buổi – khác với người trưởng thành. Trẻ em người Moken ở Thái lan đã được nghiên cứu về sự nhanh nhạy này. Kết quả cho thấy mọi trẻ em đều có khả năng này nhưng phần lớn trẻ em đều không có nhiều thời gian sống ở biển.

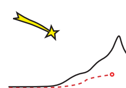
* *

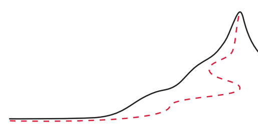
Câu đố 195 e

Bạn có bao giờ thấy một cái bóng trên gương hay trên mặt nước phẳng lặng không? Tại sao không?

Tóm tắt về Quang học ứng dụng

Nghệ thuật và khoa học tạo ra hình ảnh là phần quan trọng đối với Y học, Công nghiệp, khoa học, giải trí và viễn thông hiện đại. Việc thu nhận hình ảnh phần lớn là kết quả của việc uốn cong chùm tia sáng bằng các phương pháp định trước rồi phát hiện ra chúng. Mọi hệ thu nhận hình ảnh, sinh học hay nhân tạo đều dựa trên sự phản xạ, khúc xạ hay nhiễu xạ, liên kết với các máy phát hiện điểm ảnh. Mọi hệ thống tạo ảnh, ghi hay hiển thị các hình ảnh chất lượng cao – sinh học hay nhân tạo – đều sử dụng một cách thông minh sự kết hợp của Khoa học vật liệu, các cảm biến, các bộ dẫn động và việc xử lý tín hiệu. Lĩnh vực hấp dẫn này vẫn tiến hoá một cách chóng mặt.





CHƯƠNG 5
CÁC HIỆU ỨNG ĐIỆN TỪ

Xem 159

Nhìn kỹ ta thấy khí quyển đầy các hiệu ứng điện. Hiệu ứng gây ấn tượng nhất, sấm sét, hiện nay đã được tìm hiểu khá nhiều. Tuy vậy, phải mất nhiều thập kỷ và cần nhiều nhà nghiên cứu để khám phá và kết hợp các phần của bài toán lại với nhau. Dưới chân chúng ta cũng có những sự kiện quan trọng đang xảy ra: magma nóng bỏng dưới vỏ lục địa tạo ra từ trường của Trái đất và các hành tinh khác. Từ trường mạnh hấp dẫn ta vì lý do thứ 3: chúng có thể sử dụng để tạo ra lực nâng. Trước tiên ta tìm hiểu 3 chủ đề này rồi cho một tổng quan về các hiệu ứng do điện từ trường sinh ra và kết thúc bằng một số câu đố vui và lạ về điện tích.

TIA SÉT CÓ PHẢI LÀ SỰ PHÓNG ĐIỆN KHÔNG? – HIỆN TƯỢNG ĐIỆN TRONG KHÍ QUYỂN

Trong các đám mây dông, đặc biệt trong các đám mây *vũ tích* trên cao,** các điện tích được tách ra do sự va chạm giữa các tinh thể nước đá lớn của 'mưa đá tuyết' rơi xuống do trọng lượng và tinh thể nước đá nhỏ của 'mưa đá nhỏ' bay lên do các luồng gió nóng thổi lên. Vì sự va chạm tham gia trong điện trường, các điện tích được tách ra theo một cơ chế tương tự như trong máy phát điện Kelvin. Sự phóng điện xảy ra khi điện trường tăng cao, đi theo con đường kỳ lạ đã chịu tác động của các ion do tia vũ trụ tạo ra trong không khí. (Tuy vậy có ít nhất 10 cách giải thích khác cạnh tranh trong việc giải thích sự tách điện tích trong không khí.) Hình như tia vũ trụ ít nhất cũng chịu một phần trách nhiệm về hình dạng ngoằn ngoèo của tia sét. Để có một ấn tượng mạnh mẽ hãy xem Hình 163.

Xem 161
Trang 20
Xem 162

Một tia sét thường vận chuyển điện tích từ 20 tới 30 C, với cực đại dòng lên tới 20 kA. Nhưng tia sét cũng có các tính chất kỳ lạ. Trước tiên, tia sét xuất hiện khi điện trường khoảng 200 kV/m (ở độ cao thấp) thay vì 2 MV/m của các tia lửa điện thông thường. Thứ 2, *tia sét phát ra các xung vô tuyến*. Thứ 3, tia sét phát ra tia X và tia gamma. Các nhà nghiên cứu Nga, từ năm 1992 trở đi đã giải thích cả 3 tính chất này bằng một cơ chế

Xem 163

** Mây có tên Latin. Chúng được nhà thám hiểm Luke Howard (b. 1772 London, d. 1864 Tottenham), người đã nhận ra rằng mọi đám mây đều có thể xem như các biến thể của 3 loại mây mà ông gọi là *mây ti*, *mây tích* và *mây tầng*, giới thiệu vào năm 1802. Ông gọi tổ hợp của 3 loại, mây mưa là *nimbus* (từ tiếng Latin 'mây lớn'). Ngày nay hệ thống có tính quốc tế này đã được điều chỉnh đôi chút và phân biệt các đám mây theo chiều cao của cạnh dưới của chúng. Mây bắt đầu trên độ cao 6 km là mây ti, mây ti tích và mây ti tầng; mây bắt đầu từ độ cao giữa 2 và 4 km mây trung tích, mây trung tầng và mây vũ tầng; mây bắt đầu dưới độ cao 2 km là mây tầng tích, mây tầng và mây tích. Mây mưa hay mây dông, có mọi chiều cao, được gọi là *mây vũ tích*. Để ngắm vẻ đẹp của mây hãy ghé thăm trang www.goes.noaa.gov và trang www.osei.noaa.gov.

Xem 160



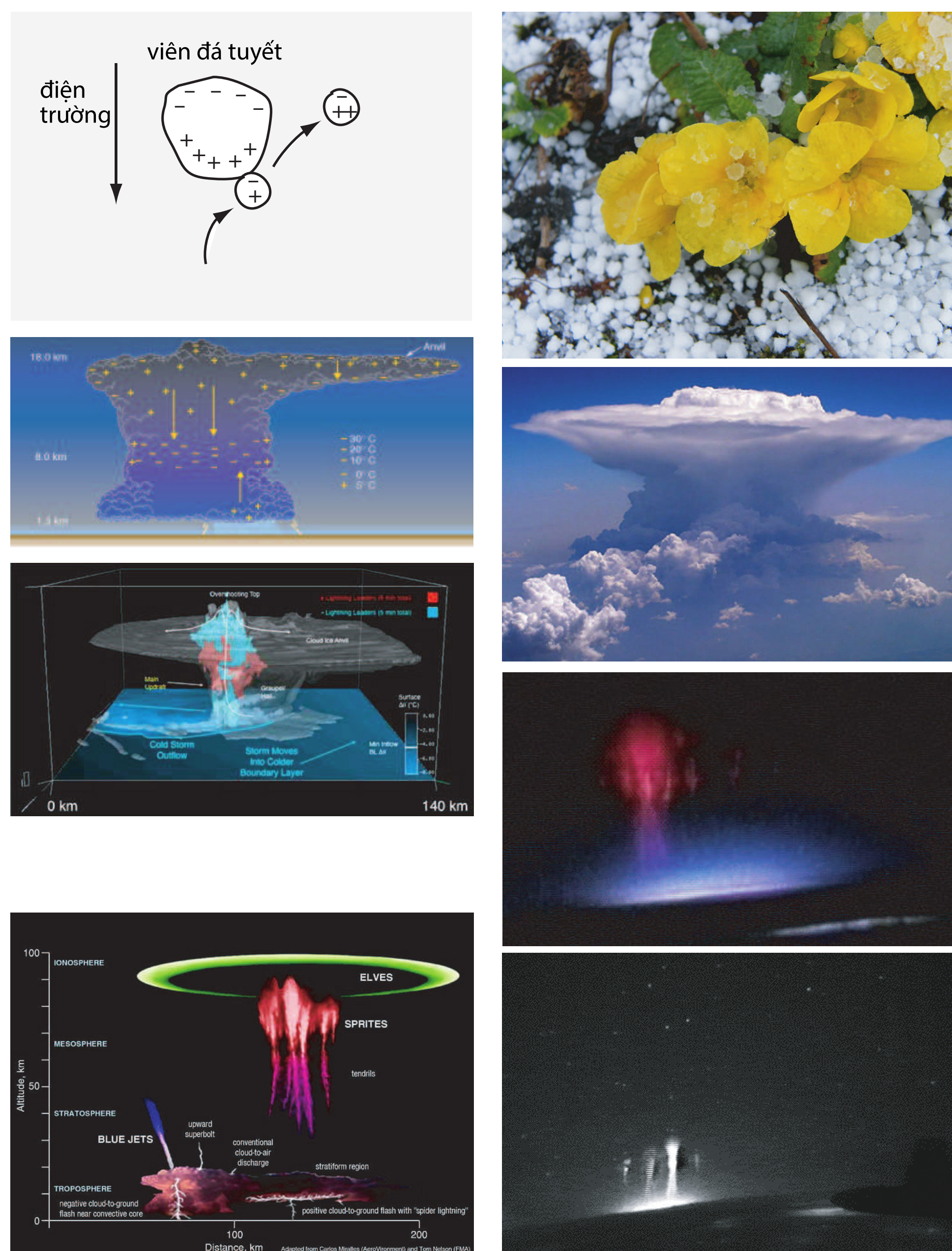
HÌNH 163 Bức ảnh hiếm có của một tia sét đáng trúng một thân cây (© Niklas Montonen).





HÌNH 164 Mây vũ tích nhìn từ mặt đất và từ trên không gian (NASA).

phóng điện mới được khám phá. Ở tầm cỡ 50 m hay hơn, tia vũ trụ có thể kích khởi sự xuất hiện của tia sét; năng lượng tương đối tính của các tia này khiến cho cơ chế phóng điện không thể là của các electron năng lượng thấp. Ở mức năng lượng tương đối tính,



HÌNH 165 Sự tích điện và phóng điện của các đám mây: cơ chế vi mô có nhiều khả năng nhất, cụ thể là sự tích điện của các hạt đá tuyết do va chạm với các viên nước đá, sự phân bố điện tích của các đám mây, cấu trúc 3 chiều và các quá trình vĩ mô được khám phá từ phi cơ, trong các thập niên qua (© nordique, NASA, NOAA).

sự đánh thủng nhanh sẽ làm cho sự phóng điện xảy ra ở điện trường thấp hơn tia lửa điện ở phòng thí nghiệm. Sự nhân các electron tương đối tính này cũng gây ra sự phát xạ các tia vô tuyến và gamma.

Vào thập niên 1990 người ta đã biết rõ hơn về các cơn bão giông. Các phi công và hành khách phi cơ đôi khi nhìn thấy sự phát xạ các ánh sáng yếu có màu sắc từ đỉnh các đám mây giông. Có nhiều kiểu phát xạ khác nhau: các *luồng khí* xanh, các *hình ảnh ma quái* và *yêu tinh* màu đỏ, bắt nguồn từ điện trường giữa đỉnh đám mây và ion-quyển. Cơ chế này chưa rõ ràng và vẫn còn được nghiên cứu. *

Xem 166 Sự phát xạ tia X từ tia sét đã được biết từ đầu thế kỷ 20. Dù vậy việc kiểm chứng bằng thực nghiệm không dễ dàng; ta cần đặt một máy phát hiện gần tia sét. Để làm được điều này, tia sét phải hướng vào một miền đã có máy phát hiện cài sẵn. Ta có thể làm điều này bằng cách sử dụng một hoả tiễn kéo một dây kim loại, đầu còn lại gắn vào mặt đất. Kết quả thực nghiệm này đã được đối chiếu với cách mô tả mới về tia sét và cũng đã giải thích được các ảnh ma xanh-đỏ trên đám mây giông. Đặc biệt, các quá trình này cũng hàm ý rằng bên trong các đám mây, electron có thể bị gia tốc lên tới mức năng lượng vài Xem 167 MeV. Các đám mây giông là các máy gia tốc electron.

Điều bất ngờ là bạn có 75 % cơ hội sống sót sau khi bị sét đánh, đặc biệt nếu bạn bị ướt hoàn toàn, vì trong trường hợp đó dòng điện chủ yếu chảy bên ngoài da. Thông thường người ướt bị sét đánh mất hết quần áo, vì nước bốc hơi sẽ xé rách chúng. Việc hồi sức nhanh chủ yếu là để giúp cho người đó hồi phục sau khi bị sét đánh. Nếu bạn bị sét đánh và còn sống sót hãy đi ngay tới bệnh viện! Nhiều người mất sau đó 3 ngày vì đã không làm như vậy. Một tia sét đánh thường gây ra sự đông tụ trong máu. Các chất này sẽ phong toả thận và người ta có thể chết sau đó 3 ngày vì suy thận. Cách điều trị đơn giản là thực hiện liệu pháp thẩm tách.

Cũng cần ghi chú thêm là bạn có thể biết cách đo khoảng cách tới tia sét bằng cách đếm thời gian giữa lúc thấy tia sét và lúc nghe tiếng sấm rồi lấy số đó nhân cho tốc độ âm thanh trong không khí, 330 m/s; điều ít ai biết là ta có thể ước tính *chiều dài* tia sét bằng cách đo *thời gian* kéo dài của sấm và nhân cho cùng một hệ số.

Sét là một phần của dòng điện vòng quanh Trái đất. Phần địa vật lý thú vị này sẽ làm ta đi quá xa mục tiêu của cuộc hành trình. Nhưng mọi vật lý gia đều biết rằng có một điện trường thẳng đứng từ 100 đến 300 V/m trong một ngày nắng ráo như đã được khám phá vào năm 1752. (Bạn có thể biết tại sao ta không nhận ra nó trong đời sống hằng ngày Câu đố 196 s không? Và tại sao ta không thể rút ra được năng lượng từ điện trường này?) Trường này hướng từ ion-quyển xuống đất; đúng ra Trái đất thường tích điện âm và trong thời tiết sáng sủa dòng điện này đi xuống (electron đi lên) xuyên qua khí quyển để *phóng điện* ra khỏi hành tinh của chúng ta. Dòng điện này khoảng từ 1 tới 2 kA toả ra trên cả Trái đất; nó có thể là do các ion được tia vũ trụ tạo ra. (Điện trở giữa mặt đất và ion-quyển khoảng 200 Ω, nên độ giảm thế tổng cộng khoảng 200 kV.) Đồng thời Trái đất thường *tích điện* do nhiều hiệu ứng: có một hiệu ứng dynamo do khí triều và dòng điện cảm ứng do từ quyển. Nhưng hiệu ứng điện quan trọng nhất là sét.

Nói cách khác, trái với những điều ta nghĩ, tia sét không phải là sự phóng điện xuống Xem 164 mặt đất mà thực sự là phóng lên trời! Thật vậy, Trái đất có điện tích khoảng −1 MC. Bạn Câu đố 197 s có thể chứng minh điều này không? Dĩ nhiên tia sét phóng điện dưới hiệu thế từ đám

* Đối với các hình ảnh, hãy xem qua trang elf.gi.alaska.edu/, www.fma-research.com/spriteres.htm và pasko.ee.psu.edu/Nature rất thú vị.




HÌNH 166 Một đám mây plasma sinh ra trong phòng thí nghiệm (© Sergei Emelin and Alexei Pirozerski).

mây tới đất; nhưng khi làm như vậy nó thực sự truyền một điện lượng âm xuống đất. Mây giông là pin; năng lượng của pin đến từ các luồng gió nóng thổi lên như ta đã đề cập ở trên, đã vận chuyển điện lượng *ngược chiều* điện trường bao quanh Trái đất.

Bằng cách sử dụng các trạm đo điện để đo sự biến thiên của điện trường của Trái đất người ta có thể định vị tất cả các tia sét đánh xuống đất tại thời điểm đã cho. Có khoảng Xem 165 *hàng trăm tia sét/s* phân bố quanh Trái đất. Các nghiên cứu hiện nay cũng hướng đến việc đo độ hoạt động của các ma quỷ và yêu tinh điện bằng cách này.

Các ion trong không khí đóng vai trò quan trọng trong việc tích điện của mây giông thông qua việc tích điện của tinh thể nước đá và các giọt mưa. Nhìn chung, mọi hạt nhỏ trong không khí đều có điện tích. Khi phi cơ và trực thăng bay, chúng thường đụng vào các hạt mang điện loại này nhiều hơn các loại khác. Kết quả là phi cơ và trực thăng tích điện trong khi bay. Khi trực thăng được sử dụng để cấp cứu từ một chiếc bè trên biển thì dây thừng kéo người lên phải được nối đất trước bằng cách nhúng nó vào nước nếu không người trên bè có thể chết vì điện giật khi họ chạm vào dây như đã xảy ra vài lần trong quá khứ.

Tại sao tia lửa điện và tia sét màu xanh? Hoá ra đây là tính chất của vật liệu: màu của vật liệu phát ra do sự kích thích của năng lượng của sự phóng điện thường là của không khí. Sự kích thích này bắt nguồn từ nhiệt độ 30 kK trong tia sét. Đối với tia lửa điện thông thường, nhiệt độ thấp hơn nhiều. Tuỳ theo trường hợp, màu có thể phát ra từ khí giữa 2 điện cực, như oxygen hay nitrogen, hay bắt nguồn từ vật liệu bị bốc hơi từ các điện cực khi phóng điện. Để giải thích cho các màu như vậy cũng như các màu do vật liệu, ta cần chờ đến phần kế tiếp của cuộc hành trình - Thuyết lượng tử.

Có sét hòn không?

Trong hàng trăm năm người ta đã công bố là đã thấy *sét hòn*. Việc này tuy hiếm nhưng luôn tái diễn. Người ta thường nói về sét hòn trong khi mưa giông, sau khi sét đã đánh Xem 168 xuống. Trừ một vài ngoại lệ, không ai xem trọng các báo cáo này vì ta không thể lặp lại sự kiện theo dữ liệu đã có.

Khi lò vi ba trở nên phổ biến, người ta đã biết nhiều phương pháp sản xuất sét hình cầu. Để thấy nó hãy cắm một que tăm vào đèn cầy, đốt que tăm và đặt nó vào lò vi ba mở hết công suất. Cách sắp đặt này tạo ra một sét cầu đẹp đẽ. Tuy vậy, người ta không sống trong một lò vi ba, do đó, cơ chế này không có dính dáng gì tới sét hòn.

Tình trạng đã thay đổi hoàn toàn trong những năm 1999 tới 2001. Trong những năm Xem 169 đó các nhà vật lý Nga Anton Egorov và Gennady Shabanov khám phá ra một cách để tạo ra các đám mây plasma hay *plasmoids*, lơ lửng trong không khí bằng cách sử dụng 3 cấu tử: nước, kim loại và hiệu thế cao. Nếu hiệu thế cao được tác dụng vào các điện cực nhô ra có hình dạng và cấu tạo thích hợp, sẽ tạo ra các đám mây plasma thoát ra khỏi nước, kích thước từ 10 tới 20 cm, lơ lửng trên mặt nước và biến mất sau khoảng 1/2 s. Bạn có thể thấy 2 thí dụ trong Hình 166. Hiện tượng plasmoid này vẫn còn được tìm hiểu. Có nhiều biến thể về hình dạng, màu sắc, kích thước và thời gian tồn tại. Phổ và kỹ thuật quan sát chắc chắn sẽ phát triển trong những năm sắp tới.

Một hiệu ứng còn kỳ lạ hơn đã được công bố năm 2007. Một nhóm nghiên cứu Brazil Xem 170 đã tìm thấy một cách để tạo ra sự phóng điện có kích thước bằng một trái banh golf lăn trên sàn nhà trong khoảng 8 s. Phương pháp của họ đơn giản và đẹp lạ lùng: nhờ một nguồn điện 25 V họ đã truyền đi một dòng điện 140 A xuyên qua một hồ quang ở bề mặt một tấm bán dẫn silic. Họ đã khám phá ra các hạt silic nhỏ bay ra trong khi được bao quanh bằng một vầng hào quang. Những đám mây sáng này có thể lang thang quanh bàn và sàn phòng thí nghiệm cho đến khi ta dập tắt chúng.

Hình như hiện tượng này có thể giải thích được một số thí nghiệm sét hòn. Nhưng cũng có thể có thêm các hiệu ứng khác sẽ được khám phá trong tương lai.

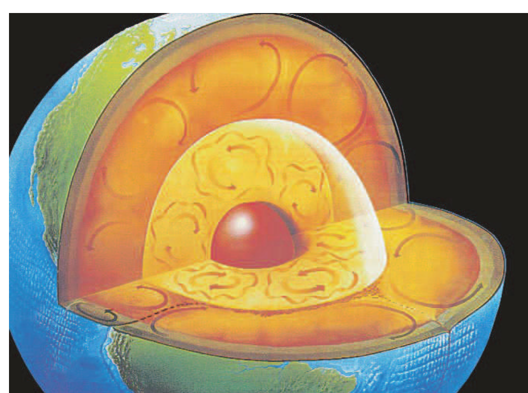
Từ trường của các hành tinh

Mô tả của Điện động lực học cổ điển là nhất quán và đầy đủ; tuy vậy, vẫn còn nhiều vấn đề phải nghiên cứu. Một thí dụ đó là nguồn gốc của từ trường Trái đất, hành tinh, Mặt trời và thiên hà.

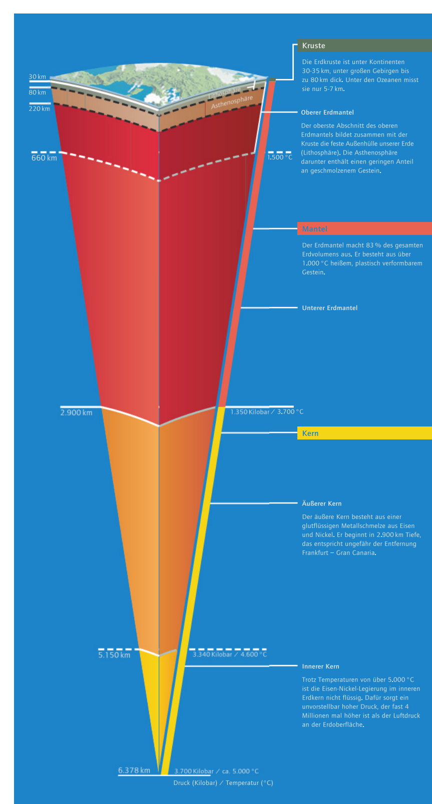
Từ trường Trái đất xác định hướng của la bàn có 8 nguồn gốc:

1. Thành phần *chính* của từ trường là địa-dynamo trong lõi lỏng của Trái đất.
2. Thành phần kế tiếp, trường *thạch quyển*, bắt nguồn từ sự từ hoá của đá.
3. Trường *thuỷ triều* do các dòng điện dẫn trong đại dương tạo ra.
4. Trường *Sq* bắt nguồn từ sự chiếu xạ của Mặt trời lên ion-quyển.
5. Trường từ quyển bắt nguồn từ sự phân bố và dịch chuyển của các điện tích bên trong nó.
6. Các dòng điện cực và xích đạo do sự phân bố điện dẫn suất của ion-quyển.
7. Bão từ do gió mặt trời tạo ra.
8. Các nguồn nhân tạo.

Từ trường chính bắt nguồn từ sự đối lưu của nhân ngoài lỏng nằm sâu trong Trái đất,



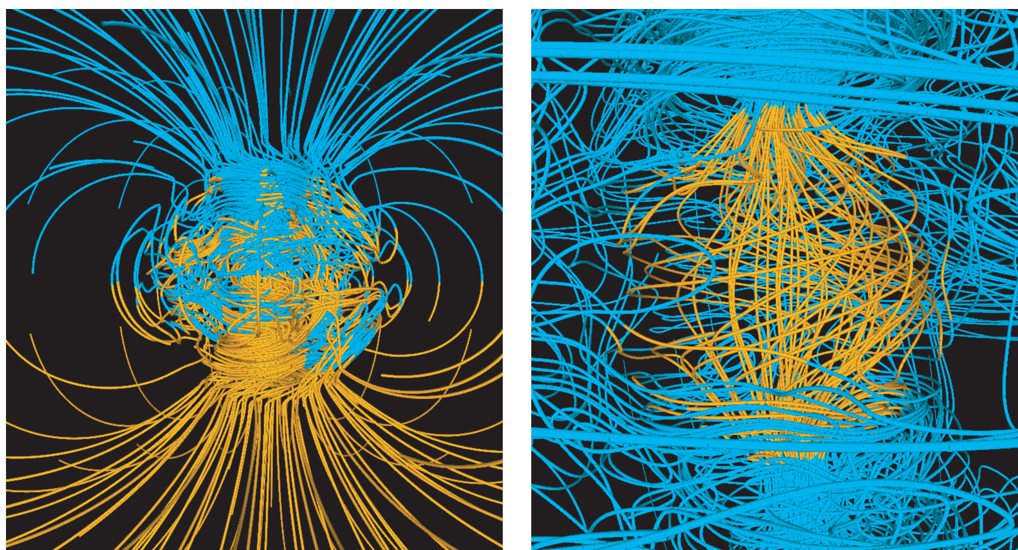




HÌNH 167 Cấu trúc của Trái đất (© MPI-Chemie, Mainz/GEO).

chủ yếu là sắt lỏng. Sự đối lưu chủ yếu là do sự biến thiên mật độ theo bán kính của nhân ngoài – nhưng cũng do sự biến thiên nhiệt độ – tạo ra sự chuyển động của sắt lỏng với tốc độ lên tới 30 km/a. Lực Coriolis ảnh hưởng mạnh đến chuyển động này. Chuyển động của sắt trong từ trường hiện hữu lại tạo ra, như trong một dynamo, một từ trường phụ. Cơ chế nền tảng của máy phát điện trái đất này hơi khó hình dung vì xảy ra trong không gian 3 chiều. Một hình minh hoạ được cho trong Hình 168. Ảnh hưởng của các cuộn xoáy, tính phi tuyến và chuyển động hỗn độn làm cho hiện tượng này trở nên cực kỳ phức tạp. Trong các hành tinh khác và các ngôi sao hiện tượng cũng xảy ra tương tự.

Chi tiết về sự tạo ra từ trường của Trái đất, thường được gọi là *địa-dynamo*, cơ chế phát điện của Trái đất, chỉ bắt đầu xuất hiện vào nửa sau thế kỷ 20, khi người ta đã có
Xem 33
đủ kiến thức về cấu tạo bên trong Trái đất. Cấu tạo này bắt đầu dưới lớp vỏ cứng. *Lớp vỏ cứng* dày từ 30 tới 40 km (dưới các lục địa), tuy vậy ở dưới các ngọn núi cao nhất thì nó dày hơn và ở dưới các núi lửa hay các đại dương thì nó mỏng hơn. Như ta đã đề cập, lớp vỏ này gồm nhiều phần, *các mảng kiến tạo*, nổi trên magma và chuyển động đối với nhau. Phần bên trong Trái đất được chia thành lớp *mantle* – lớp đầu tiên dày 2900 km kể từ bề mặt – và *nhân*. Nhân gồm có *nhân ngoài lỏng*, dày 2210 km và *nhân trong cứng* có bán kính 1280 km. (Nhiệt độ của nhân chưa được biết rõ; người ta tin rằng nó nằm
Câu đố 198 d
trong khoảng 6 ± 1 kK. Bạn có thể tìm ra cách xác định nó không? Nhiệt độ này có thể đã giảm đi vài trăm kelvin trong 3 tỷ năm qua.)



HÌNH 168 Hình bên trái: Một bức tranh vẽ các từ trường tuyến bên trong và bên ngoài Trái đất đang quay, ra tới khoảng cách 2 lần bán kính Trái đất, được mô phỏng bằng máy tính. Phía Bắc hướng lên, Nam hướng xuống. Trường tuyến đi vào màu xanh, đi ra màu vàng. Bên trong nhân lỏng, trường phức tạp và mạnh. Bên ngoài nhân yếu hơn, trơn tru và chủ yếu là trường lưỡng cực. Hình bên phải: trường tuyến trong nhân cứng của Trái đất (vàng) và nhân ngoài lỏng (xanh); chuyển động quay tương đối giữa 2 lớp là nguyên nhân của địa-dynamo. Mô hình do máy tính vẽ là của Gary A. Glatzmaier (University of California, Santa Cruz) và Paul H. Roberts (University of California, Los Angeles) thiết lập (© Gary Glatzmaier)

Nhân Trái đất gồm phần chính là sắt thu thập từ các tiểu hành tinh va chạm với nó trong quá khứ. Nhân ngoài lỏng và dẫn điện có tác dụng như một dynamo tạo ra từ trường. Điều này có thể xảy ra vì nhân lỏng không những chỉ quay mà còn *chuyển động đối lưu* từ dưới sâu lên trên. Như ta đã đề cập, sự biến thiên mật độ theo bán kính và ít hơn một chút, độ biến thiên nhiệt độ giữa nhân nóng và mantle lạnh đã gây ra sự đối lưu. Do đối lưu và hiệu ứng Coriolis, chuyển động trung bình của chất lỏng trong nhân có hình xoắn ốc. Các dòng điện khổng lồ chảy theo các đường phức tạp trong chất lỏng. Chuyển động của chất lỏng, được ma sát duy trì, tạo ra từ trường. Hiện nay, từ trường trên mặt có cường độ từ 20 tới 70 µT, tuỳ theo vị trí; bên trong nhân, giá trị này lớn hơn khoảng 50 lần.

Như vậy từ năng của Trái đất đến từ động năng của nhân ngoài lỏng và động năng thì do lực nổi. Sự đối lưu bắt nguồn từ những hiện tượng xảy ra trong lõi và nguồn gốc sau cùng chính là sự phân rã phóng xạ giữ cho nhân luôn luôn nóng. (Các quá trình phóng xạ sẽ được giải thích sau). Câu chuyện chi tiết khá hấp dẫn. Chất lỏng trong nhân Quyển V, trang 185 ngoài quay đối với mặt đất nhưng ta không thể đo được chuyển động này. Năm 1995, từ mô phỏng địa-dynamo, Gary Glatzmaier và cộng sự đã tiên đoán rằng do nhân trong rắn của Trái đất bị kéo theo nhân ngoài lỏng sẽ quay nhanh hơn vỏ cứng của Trái đất. Từ năm 1996 trở đi đã có các bằng chứng thực nghiệm của hiệu ứng này. Trong năm Xem 173 2005, người ta đã báo cáo rằng nhân trong của Trái đất quay nhanh hơn vỏ ngoài tới 1/2 độ/năm.

Từ trường của Trái đất đảo hướng trong những khoảng thời gian đặc biệt từ hàng

chục ngàn tới vài triệu năm. Tìm hiểu quá trình này là một trong những chủ đề nghiên cứu quan trọng. Việc này không dễ dàng; ta chưa thể tiến hành thí nghiệm. Đo đạc trong 150 năm là một thời gian quá ngắn so với lần chuyển tiếp sau cùng – cách nay khoảng 730 000 năm – và việc mô phỏng bằng máy tính cực kỳ phức tạp. Đúng ra, từ khi việc đo được bắt đầu, moment lưỡng cực từ đã đều đặn giảm đi 5 % mỗi năm và moment tứ cực đều đặn tăng lên. Có lẽ ta sẽ gặp một điều ngạc nhiên đang đến.

Trong các ngôi sao từ trường cũng do sự đối lưu. Chất lỏng chuyển động là plasma. Vì độ nhớt nhỏ và không có vật liệu rắn nên các quá trình và chuyển động trong dynamo của Mặt trời khác với các quá trình trong dynamo của Trái đất. Thí dụ như chu kỳ quay của bề mặt Mặt trời phụ thuộc vào vĩ tuyến; nó là 24.5 ngày ở xích đạo và 38 ngày ở 2 cực. Do độ nhớt của plasma nhỏ, từ trường Mặt trời đảo cực rất nhanh và đều đặn mỗi 11 năm. Sự đảo cực này có ảnh hưởng đến số điểm đen trên Mặt trời và trên cường độ gió mặt trời đến Trái đất. Từ trường ở bề mặt Mặt trời là từ 0.1 tới 0.2 mT, lớn hơn ở Trái đất vài lần; trong các điểm đen từ trường có thể đến 0.3 T.

Việc nghiên cứu từ trường của *thiên hà* có phức tạp hơn và vẫn còn sơ khai. Đã có nhiều thí nghiệm đo đạc cho thấy cường độ từ trường khoảng vài nT. Người ta chưa hiểu rõ về nguồn gốc của từ trường này.

Sự bay bổng

Ta đã thấy rằng có thể làm một vật chuyển động mà không cần chạm vào nó bằng cách sử dụng từ trường hay điện trường và dĩ nhiên có thể sử dụng lực hấp dẫn. Ta có thể không chạm vào vật mà vẫn giữ cho nó lơ lửng trong không khí không? Có kiểu đứng yên như vậy không?

Hoá ra có nhiều cách nâng các vật. Các phương pháp này chia thành 2 nhóm: phương pháp *tiêu tốn năng lượng* và phương pháp *không tiêu tốn năng lượng*. Trong các phương pháp tiêu tốn năng lượng là làm cho một vật nổi trên một luồng không khí hay nước, làm nổi một vật bằng sóng âm thí dụ như trên một cái còi hay nhờ một chùm laser đặt bên dưới vật và làm nổi các vật liệu dẫn điện, ngay cả chất lỏng, trong các trường có tần số vô tuyến mạnh. Hiện nay, việc nâng chất lỏng hay chất rắn bằng sóng siêu âm mạnh đang trở nên phổ biến trong các phòng thí nghiệm. Tất cả các phương pháp này đều cung cấp sự nâng *tĩnh*. (Các vật tự nâng như các máy bay tự hành không được tính trong thí dụ này).

Xem 174

Xem 175

Nhóm các phương pháp nâng có tiêu tốn năng lượng khác cảm nhận quỹ đạo rơi của vật và đẩy nó lên bằng một cách thích hợp thông qua một vòng hồi dưỡng; các phương pháp này có tính *động* và thường sử dụng từ trường để giữ cho vật không rơi. Xe đệm từ được chế tạo ở Thượng Hải của một consortium Đức được nâng bằng cách này. Cả xe điện bao gồm hành khách được nâng lên đẩy về phía trước bằng nam châm điện. Như vậy ta có thể nâng hàng chục tấn vật liệu bằng nam châm.

Xem 176

Đối với các phương pháp nâng *không* tiêu tốn năng lượng – mọi phương pháp như vậy đều phải có tính chất tĩnh – ta có thể tìm thấy một giới hạn bằng cách nghiên cứu ‘định luật’ Coulomb trong Tĩnh điện học:

▷ Không có một cấu hình điện trường tĩnh nào có thể nâng một vật *có tích điện* trong không gian tự do hay trong không khí.

Kết quả tương tự cũng đúng đối với các trường hấp dẫn và các vật *có khối lượng*:*

▷ Không có một cấu hình khối lượng tĩnh nào có thể nâng một vật *có khối lượng*.

Nói cách khác, ta không thể tạo ra một thế năng cực tiểu địa phương ở chính giữa một cái hộp bằng cách sử dụng điện trường hay trường hấp dẫn. Sự bất khả này được gọi là *định lý Earnshaw*. Nói theo ngôn ngữ toán học, lời giải của phương trình Laplace $\Delta\varphi = 0$, các *hàm điều hoà*, có cực trị ở biên và không bao giờ có cực trị trong miền xác định. (Bạn đã chứng minh điều này ở Trang 189 trong quyển I.) Ta cũng có thể chứng minh định lý Earnshaw bằng cách nhận xét rằng với thế cực tiểu đã cho trong không gian tự do, định lý Gauss đối với một hình cầu bao quanh cực tiểu đó đòi hỏi phải có một nguồn ở trong hình cầu, điều mâu thuẫn với giả thiết ban đầu.

Xem 177

Ta có thể suy ra rằng: không thể sử dụng điện trường để nâng một vật *trung hoà* về điện trong không khí: thế năng U của vật đó, với thể tích V và độ điện thẩm ε, trong môi trường có độ điện thẩm ε_0, được tính theo công thức

$$\frac{U}{V} = -\frac{1}{2}(\varepsilon - \varepsilon_0)\,E^2 \quad . \tag{83}$$

Vì điện trường E không bao giờ cực đại ở nơi không có điện tích không gian và vì mọi vật liệu đều có $\varepsilon > \varepsilon_0$ nên ta không thể có thế năng cực tiểu trong không gian tự do đối với vật trung hoà điện.**

Tóm lại, việc sử dụng *tĩnh điện trường* hay *trường hấp dẫn* tĩnh không thể giữ một vật không rơi; cả Cơ học lượng tử, kết hợp với các hiện tượng như phản vật chất lẫn Thuyết tương đối tổng quát, bao gồm các hiện tượng như hố đen, đều không thay đổi được kết quả cơ bản này.

Đối với *tĩnh từ trường*, các lập luận cũng tương tự như điện trường: thế năng U của một vật có thể từ hoá, có thể tích V và độ từ thẩm μ trong môi trường có độ từ thẩm μ_0 không có dòng điện, được tính theo công thức

Câu đố 199 ny

$$\frac{U}{V} = -\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\mu} - \frac{1}{\mu_0}\right)B^2 \,. \tag{84}$$

Từ bất đẳng thức $\Delta B^2 \geqslant 0$ đối với từ trường, một tĩnh từ trường B không thể có cực đại cô lập mà chỉ có cực tiểu cô lập. Do đó, ta không thể nâng các vật liệu thuận từ ($\mu > \mu_o$) hay thiết từ ($\mu \gg \mu_0$) như thép, bao gồm các nam châm thẳng, là các vật bị hút chứ không bị đẩy ra khỏi nơi cực đại của từ trường.

Câu đố 200 e

Có 2 cách để thực hiện việc nâng các vật bằng từ trường: *nâng một nam châm nghịch từ* hay sử dụng một *từ trường thay đổi theo thời gian*.

* Điều làm những người mê tiểu thuyết giả tưởng bực bội là kết quả vẫn như vậy ngay cả khi có khối lượng âm. Và cả khi lực hấp dẫn không thực sự bắt nguồn từ trường mà từ độ cong không-thời gian như trong Thuyết tương đối tổng quát thì kết quả này vẫn đúng.

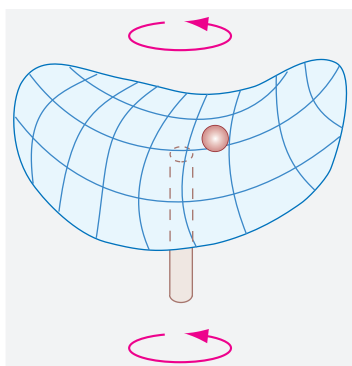
Quyển I, trang 106

** Tuy vậy ta có thể 'nâng' các bọt khí trong chất lỏng – 'bẫy' chúng để chúng không nổi lên là cách phát biểu tốt hơn – vì trong trường hợp đó hằng số điện môi của môi trường lớn hơn của chất khí. Bạn có thể tìm ra một tổ hợp lỏng–khí trong đó bọt khí rơi xuống thay vì bay lên hay không?

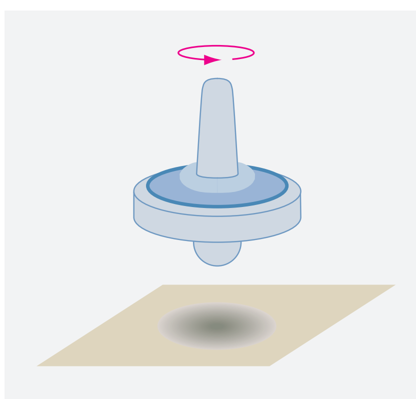
Xem 178



HÌNH 169 Sự lơ lửng nghịch từ ổn định. Hình bên trái: một con ếch sống trong một nam châm 16 T, một thanh graphite trên một nam châm vĩnh cửu hình chữ nhật và một nam châm màu đồng trên một vòng xuyến siêu dẫn. Hình bên phải: 2 phiến graphite lơ lửng, một nhìn từ bên trên và một nhìn từ một phía; hình dưới, sự lơ lửng của một nam châm vĩnh cửu NdFeB đường kính 4 mm trên một phiến graphite và giữa 2 phiến graphite gần một nam châm hình xuyến lớn không thấy trong hình (© Lijnis Nelemans, Peter Nussbaumer, and Joachim Schlichting from Xem 179).



HÌNH 170 Bẫy một hình cầu kim loại bằng cách sử dụng một máy khoan có tốc độ thay đổi và một yên ngựa bằng plastic.





HÌNH 171 Ngày nay 'ảo thuật' lơ lửng có sẵn trong tiệm bán đồ chơi, hình bên trái, một con quay, hình bên phải, việc nâng một hình cầu từ quay tròn trên một nam châm hình xuyến lớn (© Kay Kublenz).

Trang 39 Vật liệu nghịch từ ($\mu < \mu_0$, hay $\mu_r = \mu/\mu_0 < 1$) được khám phá ngay sau khi Earnshaw công bố định lý của mình và cho phép ta tránh né nó. Thật vậy, vật liệu nghịch từ, như graphite hay nước, có thể được nâng lên bằng tĩnh từ trường vì chúng hút các cực tiểu của từ trường. Thật ra ta có thể nâng các nam châm bằng cách sử dụng một tổ hợp các Xem 180 nam châm nghịch từ. Có vài trường hợp có thể thực hiện trong bếp – cùng với vài vật Xem 179 liệu khác – như ta thấy trong Hình 169.

Một thí dụ nổi tiếng khác về sự lơ lửng do nghịch từ là sự lơ lửng của các vật siêu dẫn. Thật vậy, vật siêu dẫn ít nhất là loại I, là các nam châm nghịch từ hoàn hảo ($\mu = 0$). Trong một số trường hợp vật siêu dẫn có thể *được treo* trong không khí, bên dưới một nam châm. Cũng có các đơn nguyên tử có moment từ là các nam châm nghịch từ; chúng Xem 181 thường được nâng lên và đã được chụp ảnh trong tình trạng này. Các neutron đơn lẻ, có moment lưỡng cực từ, đã được giữ trong các chai từ, thông qua lực nâng của từ trường cho đến khi chúng bị phân huỷ.

Nam châm nghịch từ lơ lửng khi $\nabla B^2 > 2\mu_0 \rho g/\chi$, trong đó ρ là mật độ của vật và Câu đố 201 ny $\chi = 1 - \mu/\mu_0$ là độ từ cảm của nó. Vì χ thường vào khoảng 10^{-5} và ρ cỡ 1000 kg/m^3, ta cần có độ biến thiên của trường khoảng 1000 T^2/m. Nói cách khác, sự lơ lửng đòi hỏi độ biến thiên của trường khoảng 10 T / 10 cm, mà ngày nay rất hay gặp ở các nam châm

trong phòng thí nghiệm từ trường cao.

Gần đây các khoa học gia đã nâng được các mảnh gỗ và plastic, trái dâu, giọt nước, các giọt helium lỏng lớn cỡ 2 cm, con cào cào, cá và ếch (tất cả đều còn sống và không bị tổn hại gì) bằng cách sử dụng lực nâng từ. Thật vậy, động vật, chẳng hạn như người đều Xem 182 được cấu tạo từ các vật liệu nghịch từ. Con người chưa được nâng lên nhưng việc tạo ra từ trường 40 T và một lượng điện năng lớn đã được hoạch định và tiến hành. Đúng ra một kỳ công tương tự đã hoàn thành: hiện tượng lơ lửng nghịch từ đã được nghiên cứu Xem 176 cho việc nâng các toa tàu hành khách, đặc biệt là ở Nhật, mặc dù có ít thành công về mặt thương mại.

Điện trường hay từ trường *thay đổi theo thời gian* thí dụ như các trường tuần hoàn có Xem 174 thể giúp ta nâng các vật bằng nhiều cách khác nhau mà không tiêu tốn năng lượng. Đây là một trong các phương pháp được sử dụng trong các giá đỡ từ của bơm chân không turbin phân tử. Hiện nay các điện tích đơn lẻ như ion và electron cũng thường được Xem 174 nâng lên bằng bẫy Paul và bẫy Penning. Sự tương tự về cách hoạt động được trình bày trong Hình 170.

Xem 183 Hình 171 cho ta thấy một món đồ chơi, trong đó ta có thể cho một con quay hay một hình cầu từ quay tròn lơ lửng trong không khí trên một nam châm hình xuyến, một sự biểu diễn đầy ấn tượng đối với khán giả. Hình này còn chứng tỏ rằng bạn có thể tự chế Xem 184 tạo một thiết bị như vậy một cách dễ dàng.

Ta có thể nâng cả electron tự do, đặt chúng nổi trên mặt của helium lỏng. Trong quá Xem 185 trình phát triển của khoa học về lực nâng gần đây nhất, năm 1995, Stephen Haley đã tiên đoán rằng độ cao của các hạt từ nhỏ lơ lửng trên mặt nhẫn siêu dẫn sẽ bị lượng tử hoá. Tuy vậy sự tiên đoán này chưa được kiểm chứng.

Để cho đầy đủ cũng cần nói thêm rằng ta không thể sử dụng lực hạt nhân để nâng các vật thông thường vì kích thước của chúng bị giới hạn trong vài fm. Tuy vậy, sau này ta sẽ thấy vật chất ở bề mặt Mặt trời không rơi vào trung tâm của nó nhờ các tương tác này; Quyển V, trang 211 như vậy ta có thể nói rằng chúng thực sự được nâng lên nhờ các tương tác hạt nhân.

Lực hấp dẫn có làm cho các điện tích bức xạ hay không?

Ta đã biết trong phần Thuyết tương đối tổng quát là lực hấp dẫn có tác dụng gia tốc. Điều này có nghĩa là một điện tích được giữ cố định ở một độ cao nào đó tương đương với một điện tích có gia tốc 9.8 m/s^2, mà kết quả là nó bức xạ sóng điện từ vì mọi hạt mang điện có gia tốc đều bức xạ. Tuy vậy, thế giới quanh ta đầy các điện tích có độ cao cố định nhưng lại không bức xạ. Điều này đã xảy ra như thế nào?

Xem 171 Câu hỏi này đã là một chủ đề được ưa thích trong nhiều năm. Nói một cách tổng quát, khái niệm bức xạ không phải là bất biến đối với quan sát viên: nếu một quan sát viên phát hiện bức xạ thì người thứ 2 không nhất thiết phải có được điều tương tự. Phương thức mà một trường bức xạ thay đổi từ quan sát viên này sang quan sát viên khác phụ thuộc vào loại chuyển động tương đối và vào chính trường đó.

Việc tìm hiểu chi tiết vấn đề này chứng tỏ rằng đối với một điện tích có gia tốc không đổi thì một quan sát viên có cùng gia tốc chỉ phát hiện ra tĩnh điện trường. Ngược lại, Xem 172 một quan sát viên quán tính sẽ phát hiện một trường bức xạ. Vì lực hấp dẫn (với độ chính xác cao) tương đương với một sự gia tốc đều, ta có một kết quả đơn giản: lực hấp dẫn không làm cho điện tích bức xạ vì quan sát viên đứng yên đối với điện tích – và người ta đã quan sát thấy điều này. Kết quả này cũng đúng trong mô tả theo lý thuyết

lượng tử.

Vật chất, sự bay bổng và các hiệu ứng điện từ

Sự lơ lửng mà các ảo thuật gia sử dụng lại là một chuyện khác. Khi David Copperfield, một ảo thuật gia trình diễn với các cô gái vào cuối thế kỷ 20, 'bay' trong các buổi trình diễn đó, anh ta đã tạo ra sự lơ lửng bằng những sợi dây câu cá nhỏ được làm cho vô hình bằng cách chiếu sáng một cách thông minh. (Làm cách nào người ta kiểm tra được điều Câu đố 202 s này?) Đúng ra, nếu chúng ta muốn chính xác, ta nên đếm số dây câu, giỏ plastic, cũng như mọi bàn ghế làm thiết bị treo. (Ngay cả các nhà báo lá cải cũng gọi chúng là thiết bị 'phản trọng lực'). Trái với cảm tưởng của chúng ta, một vật được treo hay nằm không tiếp xúc thực sự với thiết bị treo, nếu chúng ta quan sát kỹ bằng kính hiển vi. Nhu cầu chứng minh sự không tiếp xúc sẽ xuất hiện trong phần lượng tử của cuộc hành trình.*

Nhưng nếu một vật nằm không tiếp xúc với giá đỡ thì tại sao chúng ta không rơi xuyên qua bàn ghế hay sàn nhà? Ta đã khởi đầu việc tìm hiểu Cơ học bằng cách phát biểu rằng tính chất then chốt của vật chất là *tính rắn* của nó, tức là không thể có nhiều hơn 1 vật ở cùng 1 vị trí tại 1 thời điểm. Nhưng nguồn gốc của tính rắn là gì? Tính rắn bắt nguồn từ tính chất điện trong vật chất. Ta chỉ khám phá các chi tiết của tính chất này Quyển V, trang 67 trong phần sắp tới, phần lượng tử trong cuộc hành trình nhưng ta đã có thể thu lượm một số manh mối đầu tiên ngay tại đây.

Không phải chỉ có tính rắn bắt nguồn từ tính chất điện. Nhiều thí nghiệm khác – đúng ra là tất cả – đều chứng tỏ rằng vật chất được tạo thành từ các hạt mang điện. Thật vậy, vật chất có thể bị điện trường làm dịch chuyển theo nhiều cách. Trong nhiều năm, Xem 186 các khoa học gia về vật liệu đã lập nên một danh sách dài các hiệu ứng như vậy và mọi hiệu ứng đó đều dựa trên sự hiện hữu của các cấu tử mang điện trong vật chất. Một tổng quan được cho trong Bảng 17. Bạn có thể tìm hay tưởng tượng ra một hiệu ứng mới Câu đố 203 r không? Thí dụ như điện tích có thể làm vật đổi màu không?

BẢNG 17 Các tính chất của vật chất có liên hệ với hiện tượng điện từ, cho thấy vai trò của nó trong cấu tạo của vật chất; đồng thời có một tổng quan ngắn về Vật lý nguyên tử, Vật lý thể rắn,Vật lý lưu chất và Vật lý trong kinh doanh.

Tính chất	Thí dụ	Định nghĩa
bức xạ nhiệt, bức xạ nhiệt hay sự nóng sáng	mọi vật	bức xạ phụ thuộc nhiệt độ được một lượng vật chất vĩ mô phát ra
sự phát xạ	mọi vật	khả năng phát ra các tia nhiệt
Sự tương tác với điện tích và dòng điện (các hiệu ứng vận chuyển)		
sự điện hoá	tách kim loại ra khỏi vật cách điện	sự tích điện tự phát
hiện tượng điện ma sát	thuỷ tinh ma sát với lông mèo	sự nhiễm điện do ma sát
sự phát sáng trong khí áp kế	thuỷ ngân trượt trên thuỷ tinh	sự phóng điện trong chất khí do hiện tượng điện ma sát Xem 187
tính cách điện	không khí	không có dòng điện dưới độ giảm thế tới hạn

* Vấn đề không đơn giản: phương pháp nào trong các phương pháp trên được sử dụng cho bàn và ghế?

BẢNG 17 (Tiếp theo) Các tính chất của vật chất có liên hệ với hiện tượng điện từ.

Tính chất	Thí dụ	Định nghĩa
tính bán dẫn	kim cương, silic hay gallium arsenide	chỉ có dòng điện khi vật liệu không tinh khiết ('có pha tạp chất')
tính dẫn điện	đồng, kim loại	dòng điện chảy dễ dàng
tính siêu dẫn	niobium dưới 9 K	dòng điện chảy vô thời hạn
sự ion hoá	ngọn lửa	dòng điện chảy dễ dàng
tính định xứ (yếu, Anderson)	chất rắn hỗn độn	điện trở của chất rắn hỗn độn
điện trở suất, hiệu ứng Joule	graphite, W	sự toả nhiệt do dòng điện
hiệu ứng nhiệt điện tại những chỗ tiếp xúc: hiệu ứng Seebeck, hiệu ứng Peltier	ZnSb, PbTe, PbSe, BiSeTe, Bi_2Te_3, ...	dòng điện bắt nguồn từ độ biến thiên nhiệt độ, làm lạnh nhờ dòng điện
hiệu ứng nhiệt điện khối: hiệu ứng Thomson	Fe, Bi, Co, Sb, Cu, Ag, ...	sự làm lạnh do gradient nhiệt độ
hiệu ứng điện-âm học	CdS	sự tạo âm thanh bằng dòng điện và ngược lại
từ trở (nhiều hiệu ứng khác nhau)	permalloy, perovskite, kim loại nhiều lớp	điện trở thay đổi theo từ trường tác dụng Xem 188
sự tái hợp	máy phát hiện khói	các phần tử mang điện tái hợp để tạo thành các nguyên tử, phân tử trung hoà
sự huỷ biến	phép chụp cắt lớp positron	hạt và phản hạt, thí dụ như electron và positron, biến mất tạo thành photon
hiệu ứng Penning	H, Ne, Ar	các nguyên tử trung hoà bị kích thích lên mức nửa bền, ion hoá các nguyên tử khác thông qua sự va chạm
hiệu ứng Richardson, nhiệt phát xạ	BaO_2, W, Mo, được sử dụng trong TV và kính hiển vi điện tử	sự phát xạ electron từ kim loại nóng
hiệu ứng da	Cu, mọi chất dẫn điện	mật độ dòng tập trung ở phần ngoài của dây dẫn ở tần số cao
hiệu ứng thắt	InSb, plasma	mật độ dòng tập trung ở phần trong của dây dẫn
hiệu ứng Josephson	Nb-Oxide-Nb	dòng điện xuyên hầm chảy xuyên qua các vật cách điện giữa 2 vật siêu dẫn
hiệu ứng Sasaki–Shibuya	n-Ge, n-Si	sự bất đẳng hướng của điện dẫn suất do tác dụng của điện trường
từ tính khả chuyển	InAs:Mn	sự từ hoá có thể thay đổi bằng hiệu điện thế Xem 189
Hiệu ứng Hall	silic và các chất bán dẫn khác; được sử dụng để đo từ trường	hiệu thế vuông góc với dòng điện trong từ trường

BẢNG 17 (Tiếp theo) Các tính chất của vật chất có liên hệ với hiện tượng điện từ.

Tính chất	Thí dụ	Định nghĩa
hiệu ứng Ettingshausen–Nernst	Bi	sự xuất hiện của điện trường trong vật liệu có gradient nhiệt độ đặt trong từ trường
hiệu ứng điện-quang	plasma	sự thay đổi dòng phóng điện do sự chiếu xạ ánh sáng
Sự tương tác với từ trường		
tính thiết từ	Fe, Ni, Co, Gd	sự từ hoá tự phát; vật liệu bị từ trường hút mạnh
tính thuận từ	Fe, Al, Mg, Mn, Cr	sự từ hoá cảm ứng song song với trường tác dụng; bị từ trường hút vào
tính nghịch từ	nước, Au, graphite, NaCl	sự từ hoá cảm ứng ngược với từ trường tác dụng; bị từ trường đẩy ra
hiện tượng từ giảo (và hiệu ứng Joule, hiệu ứng Villari, hiệu ứng Wiedemann, hiệu ứng Matteucci, hiệu ứng Barret và hiệu ứng Nagaoka-Honda có liên hệ)	CeB_6, $CePd_2Al_3$, TbDyFe	sự thay đổi hình dạng hay thể tích do tác dụng của từ trường
hiệu ứng từ đàn	Fe, Ni	sự thay đổi từ tính do sức căng hay áp suất
hiệu ứng âm-từ	hợp kim, sticker chống trộm	sự kích thích dao động cơ thông qua từ trường
hiệu ứng van spin	kim loại nhiều lớp	điện trở phụ thuộc hướng spin của electron đối với từ trường tác dụng
hiệu ứng Zeeman	nguyên tử, thí dụ như Cd	sự thay đổi tần số phát xạ theo từ trường
quang định hướng	khí thuận từ	sự định hướng spin nguyên tử bằng ánh sáng phân cực tròn và từ trường thông qua hiệu ứng Zeeman
hiệu ứng Hanle	Hg, khí thuận từ	sự thay đổi độ phân cực của chất huỳnh quang theo từ trường
hiệu ứng Paschen–Back, hiệu ứng Back–Goudsmit,	khí nguyên tử	sự thay đổi tần số phát xạ trong từ trường mạnh
từ-quang hoạt tính hay hiệu ứng Faraday hay hiệu ứng quay Faraday	thuỷ tinh flint	góc phân cực bị quay do tác dụng của từ trường; chiết suất thay đổi đối với ánh sáng phân cực tròn phải và trái, như trong sự ghi quang-từ
tính lưỡng hướng sắc tròn từ	chất khí	sự hấp thu khác nhau đối với ánh sáng phân cực tròn phải và trái; chủ yếu giống như hiện tượng trên
hiệu ứng Majorana	chất keo	hiệu ứng quang-từ đặc biệt
hiệu ứng quang điện từ	InSb	dòng điện trong chất bán dẫn đặt trong từ trường bắt nguồn từ sự chiếu xạ ánh sáng
hiệu ứng Faraday ngược	GdFeCo	sự đảo cực từ bằng các xung laser fs

BẢNG 17 (Tiếp theo) Các tính chất của vật chất có liên hệ với hiện tượng điện từ.

Tính chất	Thí dụ	Định nghĩa
hiệu ứng Voigt	hơi	tính lưỡng chiết do tác dụng của từ trường
hiệu ứng Cotton–Mouton	chất lỏng	tính lưỡng chiết do tác dụng của từ trường
hiệu ứng Shubnikov–de Haas	Bi	sự thay đổi tuần hoàn của điện trở theo từ trường tác dụng
hiệu ứng nhiệt từ: hiệu ứng Ettingshausen, hiệu ứng Righi–Leduc, hiệu ứng Nernst, hiệu ứng từ–Seebeck	hợp kim BiSb	sự liên hệ giữa nhiệt độ, trường tác dụng và dòng điện
hiệu ứng Hall quang tử	CeF_3	sự phụ thuộc của cường độ ánh sáng ngang vào từ trường Xem 190
hiệu ứng từ nhiệt	gadolinium, hợp kim GdSiGe	vật liệu lạnh đi khi không còn từ trường Xem 191
sự cộng hưởng cyclotron	chất bán dẫn, kim loại	sự hấp thu lọc lựa của sóng vô tuyến trong từ trường
hiệu ứng từ-âm	chất bán dẫn, kim loại	sự hấp thu lọc lựa của sóng âm trong từ trường
cộng hưởng từ (nhiều loại)	phần lớn các vật liệu, được sử dụng để chụp ảnh trong y khoa nhằm xác định cấu trúc phân tử	sự hấp thu lọc lựa của sóng vô tuyến trong từ trường; bao gồm NMR, EPR, ...
hiệu ứng từ lưu	chất lỏng, được sử dụng trong hệ thống giảm xóc của xe hiện đại	sự thay đổi độ nhớt dưới tác dụng của từ trường
hiệu ứng Meissner	vật siêu dẫn loại 1, được sử dụng trong việc nâng các vật	sự đẩy từ trường ra khỏi vật siêu dẫn
Sự tương tác với điện trường		
hệ số phân cực	mọi chất	độ phân cực thay đổi theo điện trường tác dụng
sự ion hoá, phát xạ trường, hiệu ứng Schottky	mọi chất, TV	điện tích bứt ra khi có điện trường lớn
tính thuận điện	$BaTiO_3$	điện trường gây ra sự phân cực cùng hướng
tính nghịch điện	nước bị khử ion hoá, chất cách điện	theo hướng ngược lại
tính thiết điện	$BaTiO_3$	sự phân cực tự phát dưới nhiệt độ tới hạn
tính áp điện	bật lửa thạch anh sử dụng trong bếp, xương người, $LiNbO_3$	sự phân cực xuất hiện do sức căng, ứng suất hay áp suất

BẢNG 17 (Tiếp theo) Các tính chất của vật chất có liên hệ với hiện tượng điện từ.

Tính chất	Thí dụ	Định nghĩa
hiện tượng điện giảo	platinum xốp trong acid	sự thay đổi hình dạng theo hiệu điện thế tác dụng Xem 192
hiện tượng hoả điện	$CsNO_3$, tourmaline, tinh thể có trục cực; được sử dụng để phát hiện tia hồng ngoại	sự thay đổi nhiệt độ tạo ra sự phân tách các điện tích
hiện tượng điện thẩm thấu hay hiệu ứng điện động	nhiều chất lỏng ion	chất lỏng chuyển động dưới tác dụng của điện trường Xem 193
sự dính ướt điện	dung dịch muối trên vàng	sự dính ướt bề mặt phụ thuộc vào hiệu thế tác dụng
hoạt tính điện giải	acid sulphuric	sự vận chuyển điện tích qua chất lỏng
hiệu ứng tinh thể lỏng	màn hiển thị trên đồng hồ	phân tử quay đi do tác dụng của điện trường
điện-quang hoạt tính: hiệu ứng Pockels, hiệu ứng Kerr	chất rắn tinh thể ($LiNbO_3$), chất lỏng (thí dụ như dầu)	điện trường làm quay mặt phân cực ánh sáng tức là tạo ra tính lưỡng chiết
hiệu ứng Freederichsz, hiệu ứng Schadt–Helfrichs	tinh thể lỏng nematic	tính lưỡng chiết do điện cảm ứng
hiệu ứng Stark	hydrogen, thuỷ ngân	sự đổi màu của ánh sáng phát xạ trong điện trường
sự ion hoá do trường	helium gần đầu tungsten trong kính hiển vi trường ion	sự ion hoá các nguyên tử khí trong điện trường mạnh
hiệu ứng Zener	Si	sự chuyển dời không tốn năng lượng của electron vào vùng dẫn khi điện trường lớn
sự bay hơi do trường	W	sự bay hơi dưới tác dụng của điện trường mạnh
Sự tương tác tuyến tính với ánh sáng		
sự hấp thu	than, graphite	sự biến đổi ánh sáng thành nhiệt hay các dạng năng lượng khác (dạng nào?)Câu đố 204 s
tính chất đen	than, graphite	sự hấp thu hoàn toàn trong vùng khả kiến
màu sắc	ruby	sự hấp thu phụ thuộc tần số ánh sáng
vẻ sáng kim loại	kim loại, tinh thể có tạp chất	khả năng có tác dụng giống như một cái gương 'hoàn thiện'
tán sắc ánh sáng	mọi vật liệu	tốc độ phase của ánh sáng phụ thuộc bước sóng
hiện tượng quang giảo	PbLaZrTi	ánh sáng gây ra tính áp điện
chụp ảnh	AgBr, AgI	ánh sáng làm kết lắng bạc kim loại
quang điện, quang hiệu ứng	Cs	dòng điện trong chân không do sự chiếu xạ ánh sáng

BẢNG 17 (Tiếp theo) Các tính chất của vật chất có liên hệ với hiện tượng điện từ.

Tính chất	Thí dụ	Định nghĩa
hiệu ứng quang điện trong	nối p–n Si, pin mặt trời	sự phát sinh hiệu thế và dòng điện do sự chiếu xạ ánh sáng
hiệu ứng kéo photon	p-Ge	dòng điện cảm ứng do động lượng của photon
tính trong suốt	thuỷ tinh, thạch anh, kim cương	phản xạ kém, hấp thu kém, tán xạ kém
năng suất phản xạ	kim loại	ánh sáng nảy trên các bề mặt
sự phân cực	các hạt nano bạc bị kéo dài trong thuỷ tinh	độ truyền xạ ánh sáng phụ thuộc góc phân cực
quang hoạt tính	đường hoà tan trong nước, thạch anh	sự quay mặt phẳng phân cực
tính lưỡng chiết, tính lưỡng hướng sắc thẳng	calcite, giác mạc, các phiến polymer mỏng	chiết suất phụ thuộc hướng phân cực thẳng, chùm ánh sáng bị tách thành 2 chùm
tính lưỡng hướng sắc tròn	aminoacid, andalusite	sự hấp thu phụ thuộc vào sự phân cực tròn
tính bất đẳng hướng quang cảm ứng, hiệu ứng Weigert	AgCl	tính lưỡng chiết và lưỡng hướng sắc do quang cảm ứng
hiệu ứng Compton	đo động lượng	sự thay đổi bước sóng của tia X và tia gamma khi va chạm với electron
hiện tượng điện chuyển sắc	wolframate	sự đổi màu dưới tác dụng của điện trường
sự tán xạ	chất khí, chất lỏng	ánh sáng đổi hướng
tán xạ Mie	bụi trong chất khí	ánh sáng đổi hướng
tán xạ Raleigh	bầu trời	ánh sáng đổi hướng, bầu trời màu xanh
tán xạ Raman hay hiệu ứng Smekal–Raman	khí phân tử	ánh sáng tán xạ làm thay đổi tần số
gương khả chuyển	LaH	sự thay đổi từ phản xạ sang trong suốt điều khiển bằng hiệu thế Xem 194
hiệu ứng bức xạ kế	cối xay gió 2 màu	sự chiếu xạ làm quay cối xay (xem Trang 122)
áp suất ánh sáng	*như trên*	sự chiếu xạ trực tiếp làm quay cối xay
hiệu ứng buồm mặt trời	vệ tinh tương lai	chuyển động do gió mặt trời
hiệu ứng âm-quang	TeO_2, $LiNbO_3$	sự nhiễu xạ ánh sáng do âm thanh trong vật liệu trong suốt
vật liệu quang khúc xạ	$Bi_{12}SiO_{20}$, $LiNbO_3$, GaAs, InP	sự chiếu xạ ánh sáng làm thay đổi chiết suất
hiệu ứng Auger	phổ học electron Auger	sự phát xạ electron do sự tái tổ chức nguyên tử sau khi bị ion hoá bằng tia X
sự phản xạ Bragg	xác định cấu trúc tinh thể	sự nhiễu xạ tia X trên các mặt phẳng nguyên tử
hiệu ứng Mößbauer	^{57}Fe, được sử dụng trong phổ học	sự hấp thu cộng hưởng không giật lùi của tia gamma
sự sinh cặp	Pb	sự biến đổi photon thành cặp hạt-phản hạt

BẢNG 17 (Tiếp theo) Các tính chất của vật chất có liên hệ với hiện tượng điện từ.

Tính chất	Thí dụ	Định nghĩa
hiện tượng quang dẫn	Se, CdS	sự thay đổi điện trở suất bằng sự chiếu xạ ánh sáng
hiệu ứng quang-âm, hiệu ứng âm quang	chất khí, chất rắn	tạo ra âm thanh nhờ sự hấp thu các xung ánh sáng; được sử dụng trong việc chụp ảnh mô của động vật và mô của người
Sự phát xạ ánh sáng		
sự phát quang: thuật ngữ tổng quát để phân biệt với sự nóng sáng	GaAs, TV	sự phát xạ ánh sáng của vật chất lạnh
huỳnh quang	CaF_2, sự tạo ra tia X, đèn ống, ống tia âm cực, đèn hình TV, thuốc nhuộm, polymer màu, tinh thể có tạp chất	sự phát xạ ánh sáng trong thời gian hay sau khi hấp thu ánh sáng hay các dạng năng lượng khác
lân quang	$TbCl_3$, tinh thể pha kim loại nặng	sự phát xạ ánh sáng bắt nguồn từ sự hấp thu ánh sáng, điện năng hay hoá năng, vẫn duy trì *rất lâu* sau khi kích thích
sự phát quang của chất bán dẫn	diode phát sáng (LED), bút trình chiếu laser	sự phát xạ ánh sáng bắt nguồn từ sự tái hợp electron lỗ trống trong nối p-n
điện phát quang	bột ZnS	sự phát xạ ánh sáng do điện trường giao phiên
quang phát quang	ZnS : Cu, $SrAlO_4$: Eu, Dy, hyamine	sự phát xạ ánh sáng do tia tử ngoại kích khởi, được sử dụng trong các biển báo an toàn
hoá phát quang	H_2O_2, phenyl oxalate ester, dung dịch nhuộm	sự phát xạ ánh sáng lạnh do kích thích hoá học, được sử dụng trong gậy sáng dành cho thợ lặn và để giải trí
sinh phát quang	đom đóm, cá dưới biển sâu	sự phát xạ ánh sáng lạnh của động vật, là một loại hoá phát quang đặc biệt
ma sát phát quang	đường	sự phát xạ ánh sáng trong khi ma sát hay nghiền, không có ích cho việc chiếu sáng
nhiệt phát quang	thạch anh, feldspar, tạp chất ion nửa bền trong tinh thể	sự phát xạ ánh sáng trong khi nung nóng, thường cho thấy các các dấu vết của quá trình chiếu xạ trong quá khứ, được sử dụng trong việc xác định niên đại của đồ gốm cổ Xem 195
âm phát quang	không khí trong nước	sự phát xạ ánh sáng trong quá trình tạo bọt khí trong nước
hấp dẫn phát quang	không có; Câu đố 205 s tại sao?	
bức xạ thắng	sự tạo ra tia X	sự phát bức xạ thông qua sự giảm tốc nhanh của các electron

BẢNG 17 (Tiếp theo) Các tính chất của vật chất có liên hệ với hiện tượng điện từ.

Tính chất	Thí dụ	Định nghĩa
hiệu ứng Čerenkov	nước, máy phát hiện hạt polymer	sự phát xạ ánh sáng trong một môi trường bắt nguồn từ các hạt, thí dụ như được phát xạ từ các quá trình phóng xạ, chuyển động nhanh hơn tốc độ ánh sáng trong môi trường đó
bức xạ chuyển dời	mọi vật liệu	sự phát xạ ánh sáng bắt nguồn từ các hạt chuyển động nhanh từ một môi trường sang môi trường có chiết suất khác
Sự tương tác phi tuyến với ánh sáng		
hoạt tính laser, siêu bức xạ	bia, ruby, He–Ne, v.v...	sự phát xạ các bức xạ kích động
laser thác lượng tử	bán dẫn nhiều lớp	sự phát xạ bức xạ hồng ngoại kích động thông qua sự chuyển dời qua các lớp giữa các vùng năng lượng con
sự tạo ra các hoạ ba thứ 2, thứ 3, thứ *n*	$LiNbO_3$, KH_2PO_4	ánh sáng biến đổi một phần thành ánh sáng có tần số gấp 2, 3, *n* lần
hoạt tính của gương liên hợp phase	hơi CS_2, $Bi_{12}SiO_{20}$ rắn	sự phản xạ ánh sáng ngược phase địa phương
các hiệu ứng quang học phi tuyến phụ: sự khuếch đại theo tham số, hoà trộn tần số, sự hấp thu khả bão hoà, sự phát sinh hoạ ba thứ *n*, hiệu ứng Kerr quang học, sự khuếch đại Raman, sự tán xạ kích động Brillouin, v.v...		
Sự tương tác với chân không		
hiệu ứng Casimir	kim loại	sự hút nhau của các vật dẫn không mang điện
Các tính chất tổng quát của vật liệu cơ nhiệt		
tính rắn, tính bất khả xuyên thấu	sàn nhà, cột nhà, dây thừng, xô	có nhiều nhất 1 vật tại 1 nơi và tại 1 thời điểm đã cho
tính dẻo	kim loại	biến dạng không đàn hồi do ứng suất
tính đàn hồi	chất rắn	biến dạng thuận nghịch do ứng suất
thiết đàn tính	hợp kim Ni-Ti	sự biến dạng tự phát
tính nhớt	chất lỏng, chất rắn	sự biến dạng do ứng suất bắt nguồn từ sự chuyển động của các thành phần
nhiệt dung và nhiệt dẫn suất	bạc, cẩm thạch, không khí	khả năng chứa và vận chuyển các chuyển động hỗn độn của nguyên tử
Các tính chất khác của vật liệu thông thường	mọi vật liệu	

Mọi tính chất của vật chất được cho trong danh sách này đều có thể bị ảnh hưởng bởi điện từ trường hay phụ thuộc trực tiếp vào chúng. Điều này chứng tỏ rằng:

▷ Bản chất của mọi tính chất của vật liệu thông thường là điện từ.

Nói cách khác, điện tích và sự tương tác của chúng là một phần cốt lõi và cơ bản của cấu trúc vật thể. Bảng này cho ta thấy các tính chất điện từ khác nhau nhiều đến nỗi chuyển động của các điện tích trong vật chất phải rất phức tạp. Phần lớn các hiệu ứng là các chủ đề của Vật lý thể rắn,* Vật lý lưu chất hay Vật lý plasma.

Vật lý thể rắn tính đến nay là phần vật lý quan trọng nhất, khi xét tới ảnh hưởng của nó tới xã hội. Hầu như các hiệu ứng của nó đều có ứng dụng trong các sản phẩm kỹ thuật, đem lại việc làm cho nhiều người. Bạn có thể gọi tên một sản phẩm hay một ứng dụng thương mại đối với một hiệu ứng chọn ngẫu nhiên trong bảng này hay không? Câu đố 206 e

Tuy vậy trong hành trình lên đỉnh của chúng ta, chúng ta chỉ nhìn vào một thí dụ trong danh sách trên: bức xạ nhiệt, sự phát xạ ánh sáng của các vật nóng.

Mọi vật đều phát ra các bức xạ

Định lý Earnshaw về tính bất khả của trạng thái cân bằng bền đối với các điện tích đứng yên khiến cho các điện tích trong vật chất phải *chuyển động*. Đối với một điện tích chuyển động bất kỳ, các phương trình Maxwell đối với điện từ trường chứng tỏ rằng nó sẽ bức xạ năng lượng bằng cách phát ra sóng điện từ. Tóm lại, ta tiên đoán được rằng mọi vật chất phải bức xạ năng lượng điện từ.

Điều thú vị như ta đã biết qua kinh nghiệm thì đúng là như vậy. Các vật nóng sáng lên theo nhiệt độ của chúng; hoạt động của đèn tròn chứng tỏ rằng kim loại được tạo thành từ các hạt mang điện. *Sự nóng sáng* cần điện tích. Thật ra *mọi* vật đều phát ra bức xạ ngay cả ở nhiệt độ phòng. Bức xạ này được gọi là *bức xạ nhiệt*; ở nhiệt độ phòng nó nằm trong vùng hồng ngoại. Trong đời sống hằng ngày cường độ của nó yếu hơn và được cho bởi biểu thức tổng quát sau Xem 196

$$I(T) = fT^4 \, \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2h^3} \quad \text{hay} \quad I(T) = f\sigma T^4 \quad \text{với} \quad \sigma = 56.7\,\mathrm{nW/K^4m^2}\,, \qquad (85)$$

trong đó f là hệ số phụ thuộc vật liệu, hình dạng và nhiệt độ, giá trị nằm trong khoảng 0 và 1, được gọi là *độ phát xạ*. Hằng số σ được gọi là *hằng số bức xạ của thể đen Stefan–Boltzmann* hay *hằng số bức xạ của thể đen*. Một vật có độ phát xạ trong trường hợp lý tưởng là $f = 1$ được gọi là một *vật đen* vì ở nhiệt độ phòng một vật như vậy có hệ số hấp thu lý tưởng và sẽ có màu đen. (Bạn có hiểu vì sao không?) Bức xạ nhiệt do vật đó phát ra được gọi là *bức xạ thể đen*. Trong biểu thức này, h là hằng số Planck; h là lượng tử tác dụng của thiên nhiên. Sự phát ra bức xạ nhiệt là hiệu ứng lượng tử. Câu đố 207 s

Xem 197 Cũng cần hỏi thêm, vật nào phát ra nhiều năng lượng hơn: thân người hay một mảnh Mặt trời có cùng khối lượng? Bạn hãy đoán thử xem! Câu đố 208 s

Các câu đố và những điều kỳ lạ về các hiệu ứng điện từ

'Bên trong một vật dẫn không có điện trường.' Ta thường gặp phát biểu này. Đúng ra thì không phải đơn giản như vậy. Thật vậy, một *tĩnh* trường hay một *tĩnh* điện tích trên bề mặt kim loại của một vật không ảnh hưởng đến trường và điện tích bên trong nó. Một mặt kim loại kín như vậy tạo thành một tấm khiên chắn điện trường. Bạn có thể giải

* Có lẽ quyển sách tiếng Anh hay nhất và thú vị nhất về đề tài này là của Neil Ashcroft & David Mermin, *Solid State Physics*, Holt Rinehart & Winston, 1976.

Câu đố 209 s thích điều này không? Đúng ra hiệu ứng không cần một lớp kim loại kín; một cái lồng là đủ. Ta đang nói về *lồng Faraday*.

Cơ chế chi tiết sẽ giúp bạn trả lời câu hỏi sau: có lồng Faraday đối với lực hấp dẫn không? Tại sao?

Đối với trường hay điện tích *chuyển động* bên ngoài, vấn đề phức tạp hơn. Các trường bắt nguồn từ các điện tích bên ngoài có gia tốc – các trường bức xạ – giảm theo hàm mũ khi xuyên qua một tấm khiên. Các trường do điện tích chuyển động với tốc độ không đổi thì giảm mạnh nhưng không biến mất. Sự suy giảm phụ thuộc bề dày và điện trở suất của lớp vỏ kim loại. Đối với kim loại tấm, sự triệt tiêu trường rất nhanh; nhưng đối với nhựa phun kim loại thì không. Khiên nhựa sẽ không nhất thiết phải bảo vệ được Xem 198 thiết bị từ các tia sét đánh ở gần.

Trong thực tế, sẽ không có nguy hiểm nếu tia sét đánh vào phi cơ hay xe hơi miễn là chúng làm bằng kim loại. (Có một đoạn film trên internet về một chiếc xe bị sét đánh; tài xế còn không nhận ra điều đó). Tuy vậy, nếu xe bạn bị sét đánh trong mùa khô bạn nên chờ vài phút trước khi ra ngoài. Bạn có biết tại sao không?

Lồng Faraday còn hoạt động theo cách khác. Điện trường biến đổi (chậm) bên trong lồng Faraday không ảnh hưởng đến bên ngoài. Vì lý do này, radio, mobile phone và máy tính được bao bằng các hộp kim loại hay nhựa phun kim loại. Kim loại này giữ cho *tác hại điện từ* được giảm thiểu.

Có 3 lý do để bao các thiết bị điện bằng một tấm khiên nối đất: bảo vệ thiết bị đối với các ngoại trường, bảo vệ con người và các máy móc khác chống lại các tác hại điện từ, và bảo vệ con người chống lại các điện thế tình cờ truyền vào trong hộp (thí dụ như khi lớp cách điện bị hỏng). Trong các thí nghiệm chính xác, 3 công việc này được tách ra thành 3 loại lồng riêng biệt.

Đối với từ trường thuần tuý, tình trạng có phức tạp hơn. Rất khó để ta che chắn phần bên trong máy khỏi từ trường bên ngoài. Làm thế nào bạn làm được điều đó? Trong thực tế ta thường sử dụng các lớp *kim loại mu*; bạn có thể đoán được vật liệu này làm được Câu đố 210 s điều gì không?

* *

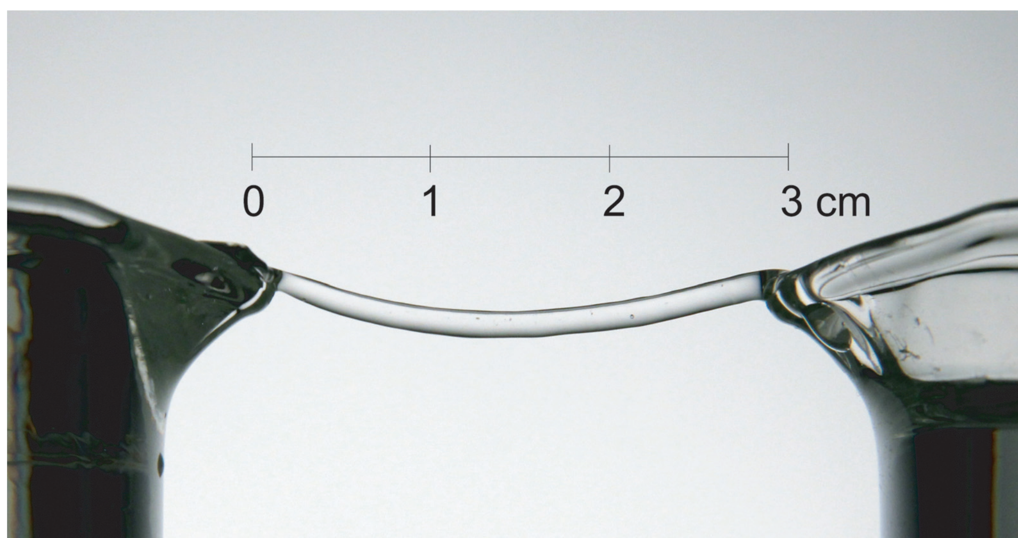
Không chỉ có điện trường là nguy hiểm. Điện từ trường thay đổi cũng nguy hiểm. Năm 1997, trong một thời tiết êm ả, đẹp tươi, một khí cầu nóng của Hoà Lan tiến gần đến trạm phát sóng vô tuyến công suất cao ở Hilversum. Sau khi lượn vòng vài phút gần antenne, du thuyền của khí cầu bỗng rời ra làm toàn bộ hành khách đều tử nạn.

Một đội điều tra tái dựng hiện trường sau đó vài tuần. Trong khí cầu hiện đại này du thuyền được treo bằng dây nylon chất lượng cao. Để tránh nguy hiểm do sét đánh và để tránh sự nhiễm điện tất cả các sợi dây nylon này đều chứa lõi kim loại mảnh tạo thành một mặt đẳng thế khổng lồ bao quanh khí cầu. Không may, khi gặp máy phát sóng vô tuyến, các dây kim loại này hấp thu năng lượng sóng từ máy phát, nóng đỏ và làm chảy dây nylon. Đó là lần đầu tiên người ta thấy hiện tượng này.

* *

Xem 200 Một số nhà nghiên cứu đang thử phát hiện sâu răng nhờ dòng điện bằng cách sử dụng kiến thức xem răng lành là các vật dẫn điện kém ngược với răng sâu. Bạn có thể ứng Câu đố 211 ny dụng hiệu ứng này như thế nào? (Cũng cần nói thêm, nó hoàn toàn không liên quan gì với kỹ thuật chụp ảnh bằng sóng terahertz hay phép chụp cắt lớp quang điều hợp có thể





HÌNH 172 Cầu bằng nước lơ lửng được duy trì bằng hiệu thế cao giữa các vật chứa và một thí dụ về chiều dài mà ta có thể đạt được bằng cách này (© Elmar Fuchs).

mang lại kết quả tương tự.)

* *

Có nhiều điều thú vị xảy ra khi một hiệu thế cao, khoảng 25 kV, tác dụng vào 2 ly đựng đầy nước tinh chất chạm nhau rồi sau đó được tách xa nhau. Một cầu bằng nước lơ lửng xuất hiện. Thí dụ được trình bày trong Hình 172. Hiệu thế cao – rất nguy hiểm do đó

đừng làm ở nhà – tạo thành một dòng nước từ ly này bắc qua ly kia trong một ống lơ
Xem 199 lửng trong không khí. Để có một sự giới thiệu đầy đủ về hiệu ứng điện thuỷ động lực này hãy ghé website đẹp mắt ecfuchs.com/?page=waterbridge.

* *

Xem 201 Xương người có tính áp điện: nó tạo ra tín hiệu điện khi có lực tác dụng. Khi ta chuyển động và tăng trưởng, tín hiệu điện này được cơ thể sử dụng để gia cố xương ở những vị trí cần thiết. Tính áp điện của xương kiểm soát và hướng dẫn sự tăng trưởng của chúng. Mối liên kết này cũng được sử dụng để làm cho xương bị gãy mau lành: bằng cách tác dụng các *xung* từ trường vào xương bị gãy, sự điều trị được kích thích và tăng tốc. (Dĩ nhiên tĩnh từ trường không thể dùng cho mục đích này). Răng cũng có tính áp điện và hiệu ứng này cũng đóng vai trò quan trọng trong sự tăng trưởng của chúng.

* *

Trong các cửa hàng người ta có thể mua các thiết bị áp điện – tương tự như quẹt ga – sử dụng cho các vết muỗi cắn và nghe nói rằng chúng có thể làm cho ta bớt ngứa hay sưng.
Câu đố 212 e (Một số tên sản phẩm là ‘zanza click’ và ‘skeeter click’) Các điều này có đúng không?

* *

Một nhóm nhiếp ảnh gia ở giữa sa mạc Sahara đã sử dụng các thiết bị điện chạy pin để ghi âm. Khi dây micro dài vài chục mét, họ nghe thấy tiếng ồn 50 Hz của nguồn điện, mặc dù nhà máy điện gần đó cách xa hàng trăm km. Sự nghiên cứu cho ta thấy rằng các đường dây cao thế ở châu Âu mất đi một năng lượng đáng kể do sự chiếu xạ; các sóng 50 Hz này được ion-quyển phản xạ vòng quanh Trái đất và vì vậy có thể làm nhiễu việc ghi âm ở giữa sa mạc. Bạn có thể ước tính xem thí nghiệm này có thể làm cho sinh vật
Câu đố 213 s sống gần đường dây cao thế bị nguy hiểm hay không?

* *

Khi bão plasma của Mặt trời được nhìn thấy, các thiên văn gia gọi điện cho các công ty điện lực trước tiên. Họ biết rằng từ 24 tới 48 giờ sau, các hạt mang điện bắn ra từ cơn bão sẽ đến Trái đất, làm cho từ trường trên mặt đất thăng giáng. Vì lưới điện thường có các vòng khép kín hàng ngàn km, các dòng điện phụ được tạo ra, có thể làm cho các biến thế trong lưới điện quá nhiệt và tắt ngóm. Các biến thế khác phải gánh phần công suất phụ, lại quá nhiệt, v.v... Nhiều lần trong quá khứ, hàng triệu người phải chịu cảnh không điện do bão Mặt trời. Ngày nay, các công ty điện lực tránh các vấn đề này bằng cách tách rời các khu vực điện khác nhau, không tạo ra các vòng lớn, giảm hiệu thế cung cấp để các biến thế không quá tải và không chuyển tải từ các mạch bị hỏng sang nơi khác.

* *

Nếu ta mô tả điện trường là tổng các thành phần có tần số khác nhau, *các thành phần*
Xem 202 *Fourier*, có biên độ là

$$\hat{\boldsymbol{E}}(k,t) = \frac{1}{(2\pi)^3/2} \int \boldsymbol{E}(x,t)\mathrm{e}^{-i\boldsymbol{k}\boldsymbol{x}}\,\mathrm{d}^3x \qquad (86)$$

và tương tự đối với từ trường. Hoá ra đại lượng bất biến Lorentz N, mô tả năng lượng

cho mỗi đơn vị tần số góc ω, có thể định nghĩa là:

$$N = \frac{1}{8\pi} \int \frac{|\boldsymbol{E}(k,t)|^2 + |\boldsymbol{B}(k,t)|^2}{c|\boldsymbol{k}|} \, d^3k \, . \qquad (87)$$

Câu đố 214 s Bạn có thể đoán ra về mặt vật lý thì N là gì không? (Gợi ý: hãy nghĩ tới Thuyết lượng tử.)

* *

Trang 48 Như đã nói ở trên, Faraday đã khám phá cách đổi từ thành điện, vì đã biết rằng điện có thể biến đổi thành từ. Vấn đề này không phải dễ mô tả. Định luật Faraday không phải là đối ngẫu của định luật Ampère, vì điều đó sẽ dẫn tới việc sử dụng đơn cực từ; nó cũng không phải là định lý đảo, vì điều đó sẽ bao hàm cả dòng điện dịch. Nhưng ông đang tìm một mối liên kết và đã tìm thấy phương thức liên hệ hai đối tượng này – hoá ra nó là một phương thức mới lạ.

Faraday cũng khám phá ra cách biến đổi điện thành ánh sáng và hoá năng. Ông đã Câu đố 215 s thử biến đổi lực hấp dẫn thành điện nhưng không thành công. Tại sao lại không?

* *

Ở độ cao từ 60 km tới 1000 km, chất khí bị ion hoá một phần hay toàn phần; không có Quyển I, trang 365 nguyên tử trung hoà. Ta đang nói về *ion-quyển*, là vùng không gian chứa đầy các các ion dương và electron tự do. Mặc dù cả 2 loại điện tích có cùng số lượng, một vệ tinh đi Câu đố 216 s xuyên qua ion-quyển cũng mang điện tích âm. Tại sao? Sự tích điện ngừng lại như thế nào?

* *

Một tụ điện có điện dung C tích điện dưới hiệu thế U. Năng lượng tĩnh điện được lưu trữ là $E = CU^2/2$. Tụ điện được tách ra khỏi nguồn điện và mắc song song với một tụ khác có cùng điện dung. Sau một thời gian, dĩ nhiên hiệu thế hạ xuống còn $U/2$. Tuy vậy, năng lượng cả hệ bây giờ là $C(U/2)^2$, phân nửa giá trị ban đầu. Năng lượng đã đi Câu đố 217 s đâu?

* *

Bạn có thể làm cho một người bị điện giật bằng một pin 4.5 V và một vài sợi dây điện Câu đố 218 s như thế nào?

* *

Một câu đố cũ về điện liên quan tới sự tương đương giữa khối lượng và năng lượng. Như Xem 203 ta đã biết từ thực nghiệm là kích thước d của electrons nhỏ hơn 10^{-22} m. Điều này có

Câu đố 219 e nghĩa là điện trường quanh nó có năng lượng E ít nhất là

$$E_{\text{nergy}} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 \int E^2_{\text{lectric field}}\, \mathrm{d}V = \frac{1}{2}\varepsilon_0 \int_d^\infty \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r^2}\right)^2 4\pi r^2 \mathrm{d}r$$
$$= \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_o}\frac{1}{d} > 1.2\,\mu\mathrm{J}\,. \qquad (88)$$

Mặt khác, *khối lượng* của electron, thường được cho là 511 keV/c^2, tương đương với năng lượng là 82 fJ, 10 triệu lần *nhỏ* hơn giá trị vừa tính. Nói cách khác, Điện động lực học cổ điển gặp nhiều khó khăn khi mô tả electron.

Đúng ra không thể có một sự mô tả nhất quán về các điện tích điểm trong Điện động lực học cổ điển. Xem 204 Ngày nay chủ đề này chỉ nhận được một sự quan tâm hiếm hoi – nhưng nồng nhiệt, vì bài toán này đã được giải bằng cách khác trong phần lượng tử của cuộc thám hiểm.

* *

Mặc dù những ngày vàng son của Khoa học vật liệu đã chấm dứt nhưng hình như các tính chất điện từ khác nhau của vật chất và ứng dụng của chúng trong các thiết bị vẫn chưa được khám phá đầy đủ. Trong một năm có khoảng 1 hiệu ứng mới được khám phá xứng đáng được đưa vào danh sách các tính chất điện từ của vật chất trong Bảng 17. Trang 230 Trong số đó, một số công nghệ bán dẫn mới hơn vẫn còn có ảnh hưởng đến Điện tử học, như gần đây có mạch tích hợp phát hiện ánh sáng giá rẻ ghép trong CMOS (bán dẫn oxide kim loại bù).

* *

Việc chế tạo các nguồn sáng có chất lượng cao đã là một sự thách thức trong nhiều thế kỷ và trong tương lai. Các nguồn sáng mạnh, điều hưởng được, có độ dài điều hợp lớn hay phát ra ánh sáng có bước sóng cực hạn là tâm điểm của nhiều công trình nghiên cứu. Một trong những công trình đó là người ta vừa chế tạo được laser tia X đầu tiên; tuy vậy, chúng có kích thước vài trăm mét và sử dụng các máy gia tốc hạt đã được sửa đổi. Việc xây dựng các laser tia X nhỏ gọn vẫn còn cần nhiều năm nữa – nếu có thể thực hiện được.

* *

Trong nhiều vật liệu, ánh sáng phân cực tròn trái và phải được hấp thu khác nhau. Hiệu ứng này, được gọi là *tính lưỡng hướng sắc tròn*, được Aimé Cotton khám phá năm 1896. Vì tính lưỡng hướng sắc tròn có trong các phân tử thủ đối tính quang hoạt, việc nghiên cứu các phổ lưỡng hướng sắc tròn trở nên đơn giản và là phương pháp quan trọng để xác định cấu trúc của các phân tử sinh học.

* *

Các hiệu ứng điện khí quyển cũng được thấy quanh các thác nước. Các công trình nghiên cứu khác nhau đã chứng tỏ rằng các thác nước lớn tạo ra các giọt nước tích điện âm trong không khí. Việc hít các giọt nước này hình như có lợi cho sức khoẻ, đặc biệt là các người bị hen suyễn.

* *

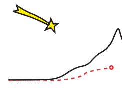
Nhưng có lẽ thách thức lớn nhất mà người ta có thể tưởng tượng ra trong Điện động lực học cổ điển là giải mã các dòng điện trong não. Ta có thể đọc được ý nghĩ bằng các dụng cụ đặt bên ngoài đầu hay không?

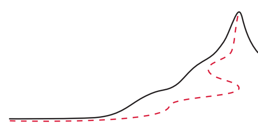
Câu đố 220 r Ta có thể khởi đầu bằng một thách thức đơn giản hơn: Người ta có thể phân biệt ý nghĩ 'yes' với ý nghĩ 'no' bằng cách đo điện từ trường quanh đầu hay không? Nói cách khác, có thể đọc được những ý nghĩ đơn giản hay không? Câu trả lời là được, vì kỳ công này đã được thực hiện. Hơn nữa bằng cách sử dụng các phép chụp ảnh não, người ta đã Xem 205 có thể phân biệt giữa các khái niệm đơn giản mà một người có trong ý nghĩ.

Trang 95 Như ta đã thấy trên đây, người ta đã có thể đọc một phần ý nghĩ thuộc về các công việc liên quan tới chuyển động, bao gồm một số video game.

Đúng ra hiện nay ta đã có thể sử dụng một cái nón với nhiều điện cực và sử dụng các mật khẩu đơn giản mà bạn nghĩ ra để bảo vệ hệ thống máy tính. Sự tiện lợi của một mật Câu đố 221 s khẩu như vậy là khó bị trộm. (Hệ thống này có an toàn không?)

Thế kỷ 21 chắc chắn sẽ mang lại nhiều kết quả mới trong việc đọc ý nghĩ về các hoạt động nhận thức. Nhóm đầu tiên thực hiện được kỳ công này sẽ trở nên nổi tiếng ngay lập tức.





Chương 6

Phần tóm tắt và các giới hạn của Điện động lực học cổ điển

Toàn bộ Điện động lực học cổ điển có thể tóm tắt thành 3 nguyên lý. Các nhà thám hiểm đều cần biết chúng vì chúng sẽ giúp ta sau này, khi ta tiếp cận đỉnh Hành Sơn, mục tiêu của cuộc phiêu lưu. Chúng ta chỉ có thể đến đỉnh nếu phát biểu những điều này thật đơn giản. Ba nguyên lý của Điện động lực học cổ điển là:

▷ *Tính xác định:* Điện tích tác dụng lực lên nhau; đối với điện tích đứng yên, lực giảm đi theo quy luật nghịch đảo của bình phương khoảng cách. Nói cách khác, điện tích được *điện từ trường* bao quanh.

▷ *Tính bảo toàn:* Điện tích được bảo toàn.

▷ *Tính bất biến của c:* Điện tích chuyển động chậm hơn ánh sáng, hay mọi hạt mang điện đều có khối lượng.

Xem 39 Từ 3 nguyên lý này ta có thể suy ra toàn bộ Điện động lực học. Đặc biệt, ta có thể suy ra các *mệnh đề cơ bản* sau:

— Điện từ trường là một biến động lực vật lý như đã chứng minh, thí dụ như bằng kim la bàn.
— Nguồn của điện từ trường là các điện tích (chuyển động) như đã chứng minh bằng hổ phách, nam châm thiên nhiên hay mobile phone.
— Điện từ trường làm thay đổi chuyển động của các vật mang điện theo biểu thức Lorentz như đã chứng minh, thí dụ như bằng động cơ điện.
— Điện từ trường có thể hiện hữu trong không gian trống rỗng và chuyển động như một sóng mà ta đã chứng minh, thí dụ như bằng ánh sáng phát ra từ ngôi sao.
— Điện từ trường hành xử như một đại lượng liên tục và được mô tả bằng phương trình tiến hoá của Maxwell, như ta đã chứng minh, thí dụ như bằng sóng vô tuyến, internet và bàn chải đánh răng điện.

Nói chính xác hơn, chuyển động của điện trường **E** và từ trường **B** được mô tả bằng mật độ Lagrange

$$\mathcal{L} = \frac{\varepsilon_0}{2}E^2 - \frac{1}{2\mu_0}B^2 \,. \qquad (89)$$

Giống như mọi chuyển động được mô tả bằng một Lagrangian, chuyển động của điện từ trường có tính thuận nghịch, liên tục, được bảo toàn và tất định. Tuy vậy, sắp có một số chuyện buồn cười xảy ra; mặc dù mô tả này đúng trong đời sống thông thường, trong

phần còn lại của cuộc hành trình lên đỉnh ta sẽ thấy rằng phát biểu cơ bản sau cùng phải sai: các trường không luôn tuân theo phương trình tiến hoá của Maxwell. Một thí dụ đơn giản cho ta thấy điều này.

Ở nhiệt độ 0 kelvin, khi vật chất không còn bức xạ nhiệt, ta có một nghịch lý là các điện tích trong vật chất không thể chuyển động, vì ta không thấy bức xạ được phát ra, nhưng chúng cũng không thể đứng yên, theo định lý Earnshaw. Tóm lại, sự hiện hữu đơn giản của vật chất – với các cấu tử có mang điện của nó – cho ta thấy Điện động lực học cổ điển là sai.

Đúng ra tổng quan đề cập đến các tính chất của vật liệu và các hiệu ứng điện từ được
Trang 230
cho trong Bảng 17 đều nói về cùng một vấn đề nhưng sâu hơn; Điện động lực học cổ điển có thể mô tả nhiều hiệu ứng đã được liệt kê, *nhưng nó không thể giải thích được nguồn gốc và trị số của chúng*. Mặc dù chỉ có vài hiệu ứng sẽ được nghiên cứu trong cuộc hành trình – chúng không phải là vấn đề thiết yếu trong cuộc phiêu lưu của chúng ta – các khái niệm tổng quát cần thiết cho việc mô tả chúng sẽ là chủ đề của các phần kế tiếp trong cuộc hành trình lên đỉnh, phần Vật lý lượng tử.

Thật ra Điện động lực cổ điển thất bại trong 2 lĩnh vực.

Không gian cong chứ không phẳng

Trước tiên, Điện động lực học cổ điển không đúng trong những vùng có *trường cực mạnh*. Khi điện từ trường cực mạnh, mật độ năng lượng của chúng sẽ *uốn cong* không-thời gian. Điện động lực học cổ điển đã giả sử không-thời gian phẳng nên không đúng trong những trường hợp như vậy.

Thất bại của Điện động lực học cổ điển rõ rệt nhất trong các trường hợp cực hạn: khi các trường cực mạnh, chúng sẽ dẫn tới việc tạo thành các hố đen. Sự hiện hữu của hố
Trang 26
đen cùng với tính rời rạc của điện tích, dẫn tới các điện trường và từ trường *cực đại*. Các giới hạn trên này đã được đề cập trong Bảng 3, liệt kê các điện trường khác nhau trong
Trang 37
thiên nhiên và trong Bảng 8, liệt kê các từ trường khả hữu. Bạn có thể suy ra giá trị của
Câu đố 222 s
các *trường Planck* này không? Lập luận chính xác dẫn tới các giới hạn của điện trường và từ trường trong thiên nhiên khá phức tạp và vẫn còn nhiều vật lý gia chối bỏ – một cách sai lầm – các giới hạn này.

Sự ảnh hưởng giữa độ cong của không gian và Điện động lực học xảy ra trên nhiều phương diện. Thí dụ như lực cực đại trong thiên nhiên giới hạn điện tích cực đại mà hố
Quyển II, trang 109
đen có thể có. Bạn có thể tìm ra mối liên hệ không? Một thí dụ khác, hình như từ trường làm tăng độ cứng của không gian trống rỗng, tức là làm tăng độ khó của việc uốn cong
Xem 206
không gian. Cho tới nay, không phải mọi tương tác giữa lực hấp dẫn và Điện động lực học đều được nghiên cứu đầy đủ; sẽ còn nhiều thí dụ nữa xuất hiện trong tương lai.

Tóm lại, Điện động lực học cổ điển không đúng trong các trường cực mạnh trong khi đó lại là nơi hoạt động của Thuyết tương đối tổng quát.

Giá trị của điện tích là rời rạc chứ không liên tục

Điện động lực học cổ điển cũng không thể mô tả đúng thiên nhiên trong *các trường cực yếu*. Điều này cũng xảy ra trong không-thời gian phẳng và bắt nguồn từ một lý do mà ta đã nói nhiều lần: *điện tích thì rời rạc*. Điện tích không thay đổi liên tục mà thay đổi theo
Quyển I, trang 398
những bước cố định. Thiên nhiên không chỉ cho thấy trị nhỏ nhất của entropy – như ta
Quyển I, trang 399
đã thấy trong phần nhiệt – trị nhỏ nhất của vật chất; thiên nhiên còn cho thấy trị nhỏ

nhất của điện tích.

▷ Điện tích bị lượng tử hoá.

Trong kim loại, ta có thể nhận ra sự lượng tử hoá qua các dòng electron. Trong *chất điện giải*, tức là chất lỏng dẫn điện, sự lượng tử hoá này xuất hiện trong dòng các nguyên tử mang điện, thường được gọi là *ion*. Tất cả pin đều chứa chất điện giải; nước cũng là dung dịch điện giải mặc dù dẫn điện kém. Trong *plasma*, như lửa hay đèn huỳnh quang, cả ion và electron đều chuyển động và cho thấy sự rời rạc của điện tích. Trong tất cả các loại bức xạ hạt đã biết – từ chùm electron trong ống tia cathode của TV, tia anode trong các ống thuỷ tinh áp suất thấp, tia vũ trụ chạm vào chúng ta hằng ngày cho tới tia phóng xạ có mặt khắp nơi – điện tích đều bị lượng tử hoá.

Trong tất cả các thí nghiệm đã biết, người ta đều tìm thấy *cùng* một giá trị nhỏ nhất e cho điện tích. Kết quả chính xác nhất là

$$e = 0.160\,217\,656\,5(35)\ \text{aC}\ , \tag{90}$$

khoảng 1/6 aC. Mọi điện tích quan sát được trong thiên nhiên đều là bội số của *điện tích nguyên tố* này.

Tóm lại, giống như mọi dòng chảy trong thiên nhiên, dòng điện cũng bắt nguồn từ dòng các hạt rời rạc. Đúng ra bản chất của các hạt mang điện có khác: chúng có thể là electron, ion, muon hay các loại hạt khác. Tuy vậy, các bước điện tích luôn giống nhau. Đúng ra tại điểm này của cuộc hành trình, sự bằng nhau của các điện tích sơ cấp đối với mọi hạt vật chất chưa giải thích được. Ta sẽ tìm ra lý do vào lúc gần kết thúc cuộc thám hiểm.

Chủ yếu là điện tích nhỏ nhất dẫn tới một kết luận đơn giản:

▷ Điện động lực học cổ điển *sai*.

Điện động lực học cổ điển chỉ có tính gần đúng tốt nhất đối với các trường *có kích thước trung bình*. Thật vậy, điện tích nhỏ nhất hàm ý rằng không có điện tích thử nhỏ vô hạn. Nhưng các điện tích thử nhỏ vô hạn lại cần cho việc *xác định* điện trường và từ trường. Trang 25 Vì một điện tích thử *hữu hạn* sẽ ảnh hưởng tới trường hiện hữu, tới độ chính xác của phép đo – và sự xác định chính xác của trường. Kết quả là giá trị đo được của điện trường và từ trường khi dùng điện tích thử hữu hạn luôn luôn không rõ ràng. Sự không rõ ràng này dễ nhận ra nhất khi trường nhỏ. Thí dụ như với cường độ của ánh sáng, các thí nghiệm phải phát hiện các *photon*, các hạt ánh sáng rời rạc. Cường độ ánh sáng nhỏ là trung bình theo thời gian của một số ít photon; chúng không phải là các trường liên tục.

Giới hạn dưới của độ lớn điện tích cũng khiến cho ta không có một phương pháp đúng đắn để xác định cường độ dòng điện tức thời trong Điện động lực học cổ điển. Thật vậy, vị trí và động lượng của điện tích luôn mờ ảo, như ta sẽ thấy sau này.

Quyển IV, trang 172 Tóm lại,

▷ Các phương trình tiến hoá của Maxwell chỉ là *gần đúng*.

Điện động lực học cổ điển không đúng trong trường hợp các trường *cực nhỏ*, khi các hiệu ứng lượng tử đóng vai trò quan trọng và không đúng trong trường hợp các trường *cực mạnh*, khi lực hấp dẫn là chủ lực. Ta sẽ tìm hiểu 2 trường hợp cực hạn này trong các phần còn lại của cuộc thám hiểm, phần Thuyết lượng tử và phần về sự thống nhất. Chỉ có một số hiệu ứng thuộc về tính rời rạc của điện tích là có thể giải quyết trong Vật lý cổ điển. Sau đây là vài thí dụ nhằm cung cấp thông tin hữu ích.

Điện tích chuyển động nhanh cỡ nào?

Trong chân không, như trong đèn hình TV màu hay trong kính hiển vi điện tử, các hạt mang điện được gia tốc dưới hiệu thế 30 kV chuyển động với tốc độ 1/3 tốc độ ánh sáng. Hiệu thế tăng lên thì tốc độ tăng lên. Trong các máy gia tốc hạt hiện đại, điện tích chuyển động nhanh đến nỗi trong thực tế tốc độ của chúng không thể phân biệt với tốc độ ánh sáng .

Câu đố 223 s

Trong kim loại, các tín hiệu điện chuyển động với tốc độ vào cỡ tốc độ ánh sáng. Trị chính xác phụ thuộc khả năng và tổng trở của dây cáp, thường trong khoảng từ $0.3c$ tới $0.5c$. Tốc độ này bắt nguồn từ khả năng đón bắt và phóng thích điện tích của kim loại. Khả năng phản ứng nhanh là do độ linh động cao của điện tích trong kim loại, tính chất này lại bắt nguồn từ các tính chất của liên kết kim loại, khối lượng và kích thước nhỏ của điện tích, tức là electron.

Tốc độ tín hiệu cao lại mâu thuẫn với các giá trị khác. *Tốc độ kéo theo v* của electron trong dây kim loại, tức là tốc độ trung bình của điện tích hiển nhiên tuân theo công thức

$$v = \frac{I}{Ane} \, , \qquad (91)$$

trong đó I là cường độ dòng điện, A là thiết diện ngang của dây dẫn, e là điện tích của 1 electron và n là mật độ electron. Mật độ electron trong đồng là $8.5 \cdot 10^{28}\,\mathrm{m}^{-3}$. Dùng giá trị I là 0.5 A, thiết diện ngang là 1 millimet vuông, ta có tốc độ kéo theo là 0.37 μm/s. Nói cách khác, electron chuyển động chậm hơn ketchup trong chai 1000 lần. Tệ hơn nữa, nếu đèn trong phòng sử dụng dòng điện không đổi thay vì dòng điện giao phiên, electron sẽ mất nhiều ngày để đi từ ngắt điện tới đèn! Tuy vậy, đèn tắt/mở gần như tức thời ngay sau khi ta sử dụng ngắt điện. Tương tự như vậy, electron từ một email được chuyển bằng dòng điện không đổi sẽ đến nơi chậm hơn lá thư gởi được cùng lúc; tuy vậy email vẫn đến nhanh hơn. Tại sao?

Ống nước cũng có một hiệu ứng tương tự. Một ống nước dài cung cấp nước gần như tức thời ngay khi ta mở khoá nước mặc dù nước cần thời gian để đi từ khoá tới cuối ống nước. Tốc độ phản ứng của nước, tốc độ tín hiệu, là tốc độ sóng áp suất hay sóng âm trong nước. Đối với ống nước, tốc độ tín hiệu lớn hơn tốc độ dòng nước và lớn hơn tốc độ phân tử rất nhiều.

Đời sống hằng ngày cũng cung cấp cho ta một hiệu ứng tương tự. Hãy tưởng tượng một hàng xe nối đuôi nhau (biểu diễn các electron) chờ đèn đỏ. Trong một thế giới lý tưởng, mọi tài xế đều nhìn đèn. Ngay khi đèn xanh thì mọi người bắt đầu lái. Mặc dù tốc độ chạy chỉ chừng 10 m/s, tốc độ dòng xe bắt đầu là tốc độ ánh sáng. Tốc độ đó là tốc độ tín hiệu. Tốc độ tín hiệu lớn hơn tốc độ xe.

Tóm lại, trong kim loại, electron chuyển động chậm chạp; tốc độ tín hiệu điện không

phải là tốc độ electron mà là tốc độ sóng mật độ, bắt nguồn từ điện từ trường. Đúng ra mỗi nhà chỉ có một nguồn điện giao phiên. Trong trường hợp này, electron trong dây
Câu đố 224 e
đồng chỉ dao động trong một phạm vi nhỏ và bạn có thể kiểm tra lại điều đó.

Trong chất lỏng, điện tích chuyển động với tốc độ khác trong kim loại và tỷ số điện tích/khối lượng của chúng cũng khác. Ta đã biết điều này từ kinh nghiệm. *Dây thần kinh* của chúng ta hoạt động bằng cách sử dụng các tín hiệu điện và mất vài ms để đáp ứng với sự kích thích mặc dù chúng (chỉ) dài khoảng 1 mét. Trong pin người ta cũng gặp tốc độ tương tự. Trong tất cả các hệ này, điện tích chuyển động được các ion vận chuyển. *Ion* là các nguyên tử tích điện. Ion, giống như các nguyên tử, là các thực thể to, nặng, có cấu tạo phức tạp, khác với các electron nhỏ và nhẹ. Kết quả là ion chuyển động chậm hơn nhiều. Thời gian phản ứng có giới hạn của chúng ta là hệ quả của chuyển động của ion.

Trong các hệ vật chất khác, điện tích chuyển động là electron và ion. Thí dụ như trong đèn neon, lửa, plasma và Mặt trời. Điều này dẫn ta tới câu hỏi:

Chuyển động trong nguyên tử là chuyển động gì?

Trong nguyên tử, electron hành xử rất kỳ lạ. Ta thường nghĩ electron chuyển động quanh hạt nhân (như ta sẽ thấy sau đây) với tốc độ khá lớn vì bán kính quỹ đạo khá nhỏ. Tuy vậy, hoá ra là trong phần lớn các nguyên tử, electron không chuyển động quanh hạt nhân: nhiều electron không có moment động lượng quỹ đạo. Tại sao lại như vậy?

Tệ hơn nữa, một số electron có động lượng quỹ đạo. Nhưng nếu chúng đang quay quanh hạt nhân nguyên tử như các hành tinh quay quanh Mặt trời thì chúng phải có gia tốc không đổi. Như vậy chúng sẽ phát ra bức xạ điện từ cho đến khi chúng rơi vào hạt nhân. Nhưng điều này không xảy ra: nguyên tử bền vững! Tại sao lại như vậy?

Và tại sao mọi nguyên tử có cùng kích thước? Kích thước nguyên tử phụ thuộc moment động lượng của electron trong nguyên tử. Nhưng yếu tố nào xác định động lượng quỹ đạo của electron quanh hạt nhân?

Ta sẽ khám phá ra là trong thiên nhiên có giá trị moment động lượng nhỏ nhất. Giá trị này giữ cho kích thước của nguyên tử cố định. Và ta cũng sẽ khám phá ra rằng chuyển động của electron, khác với các vật thông thường, *không thể* mô tả bằng các quỹ đạo trong không gian, và như vậy sẽ giữ cho các nguyên tử bền vững. Câu chuyện kỳ lạ về nguyên tử và cấu trúc của chúng sẽ được kể trong phần lượng tử của cuộc phiêu lưu
Quyển IV, trang 182
trong quyển sách sau quyển này.

Các câu đố và các điều kỳ lạ về tính rời rạc của điện tích

Làm cách nào bạn chứng minh được bằng thực nghiệm là các điện tích là những phần
Câu đố 225 s
nhỏ nhất?

* *

Tính rời rạc của điện tích cho thấy ta cần ước tính kích thước của nguyên tử bằng cách
Câu đố 226 ny
quan sát sự kết lắng điện của kim loại. Bằng cách nào?

* *

Điện động lực học cổ điển cho ta thấy không thể có điện tích *điểm*. Bạn có thể giải thích lập luận này hay không? Sau đó bạn có thể cho biết là lập luận này có thể áp dụng cho
Câu đố 227 s
thiên nhiên hay không?

* *

Tia vũ trụ gồm có các hạt mang điện chạm vào Trái đất. (Sau này ta sẽ bàn kỹ hơn.) Các nhà vật lý thiên văn giải thích rằng các hạt này được từ trường trong thiên hà gia tốc. Tuy vậy, biểu thức của gia tốc Lorentz chứng tỏ rằng từ trường chỉ có thể đổi hướng vận tốc của hạt chứ không thể thay đổi tốc độ. Như vậy làm sao thiên nhiên có thể kiếm được gia tốc này?

Quyển V, trang 162
Xem 207
Câu đố 228 ny

* *

Điện thế của Trái đất là bao nhiêu volt nếu ta có thể đem ra xa mọi electron của một giọt nước?

Câu đố 229 s

* *

Khi một hiệu thế tác dụng vào một điện trở, ta cần thời gian bao lâu để cường độ dòng điện đạt tới giá trị được cho trong 'định luật' Ohm? Người đầu tiên trả lời câu này là Paul Drude* vào những năm 1900. Ông lý luận rằng khi mở điện, tốc độ v của 1 electron tăng lên theo công thức $v = (eE/m)t$, trong đó E là điện trường, e là điện tích, m là khối lượng của electron. Mô hình của Drude đã giả sử rằng sự gia tăng tốc độ electron sẽ ngừng lại khi electron đụng vào một nguyên tử, mất năng lượng và bắt đầu tăng tốc trở lại. Drude suy ra được thời gian trung bình τ cho tới khi va chạm liên hệ với điện trở suất theo công thức

$$\rho = \frac{E}{j} = \frac{E}{env} = \frac{2m}{\tau e^2 n} , \tag{92}$$

với n là mật độ electron. Vế phải không phụ thuộc E; nó là một hằng số. Như vậy Drude đã giải thích được *'định luật' Ohm* $U = RI$ (hay $E = j\rho$) từ các tính chất của vật chất bằng cách giả sử rằng điện trở bắt nguồn từ việc các electron chuyển động liên tục va chạm và tăng tốc. Thay số trong trường hợp đồng ($n = 8.5 \cdot 10^{28}$ /m^{-3} và $\rho = 0.16 \cdot 10^{-7}$ Ωm), ta được $\tau = 51$ ps. Thời gian này ngắn đến nỗi quá trình mở điện thường có thể bỏ qua.

* *

Viết các phương trình Maxwell *trong chân không* có ý nghĩa gì không? Cả điện trường và từ trường đều cần các điện tích để đo. Nhưng chân không thì không có điện tích. Và trường được xác định bằng cách sử dụng các điện tích thử nhỏ vô hạn. Nhưng như ta đã đề cập, không có điện tích nhỏ vô hạn. Đúng ra chỉ có Thuyết lượng tử giải quyết được vấn đề này. Bạn có thể tưởng tượng ra giải pháp không?

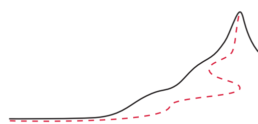
Câu đố 230 d

* *

Ta đã thấy rằng trong trường hợp các trường có giá trị trung bình thì Điện động lực học cổ điển là một sự gần đúng khá tốt bất chấp tính rời rạc của điện tích. Một hệ thống hữu dụng dùng điện tích rời rạc nhưng vẫn có thể mô tả các mặt của nó bằng Điện động lực học cổ điển. Nó xứng đáng để ta bàn luận riêng: đó là não bộ.

* Paul Karl Ludwig Drude (b. 1863 Braunschweig, d. 1906 Berlin), vật lý gia, đã tiên đoán bằng mô hình khí electron trong kim loại – trong đó tỷ số nhiệt dẫn suất/điện dẫn suất ở nhiệt độ đã cho sẽ giống nhau đối với mọi kim loại; đây là một cách tính gần đúng. Drude cũng là người đưa ra phép đo phân cực ellipse và ký hiệu c biểu thị tốc độ ánh sáng.





Chương 7

Câu chuyện về não bộ

> “Alles was überhaupt gedacht werden kann,
> kann klar gedacht werden.**
> Ludwig Wittgenstein, *Tractatus*, 4.116 ”

Trong cuộc hành trình, để gia tăng độ chính xác của việc mô tả các chuyển động quanh ta, đã đến lúc cần tạm nghỉ và nhìn lại quãng đường đã qua. Từ đầu đến giờ, khi tìm hiểu Cơ học, Thuyết tương đối và Điện động lực học ta đã sử dụng nhiều khái niệm mà không định nghĩa chúng, thí dụ như 'thông tin', 'ký ức', 'đo lường', 'tập hợp', 'số', 'vô hạn', 'hiện hữu', 'vũ trụ' và 'giải thích'. Các khái niệm này là các thuật ngữ có tính phổ biến và quan trọng. Trong khúc chuyển tiếp này, ta thử nhìn lại các khái niệm đó và cho chúng một định nghĩa đơn giản nhưng đủ chính xác, và vẫn giữ được tính hấp dẫn, thú vị. Thí dụ như bạn có thể giải thích cho hai đấng sinh thành 'khái niệm' là gì không? Câu đố 231 e

Ta cần tìm hiểu định nghĩa của các khái niệm để lên tới đỉnh Hành Sơn tức là mô tả chuyển động một cách đầy đủ. Trong quá khứ, nhiều người đã lạc lối vì không có những khái niệm rõ ràng. Để tránh những khó khăn này, vật lý có vai trò hướng dẫn đặc biệt. Mọi khoa học đều chia sẻ một kết quả: *mọi kiểu thay đổi mà ta quan sát được trong thiên nhiên đều là một dạng chuyển động*. Với ý nghĩa này và *chỉ* với ý nghĩa này, Vật lý, tập trung vào sự chuyển động, hình thành nền tảng của mọi khoa học khác. Nói cách khác, việc tìm kiếm 'lý thuyết của mọi điều' danh giá là một phát biểu sai lầm và kiêu căng về việc tìm kiếm *lý thuyết sau cùng về chuyển động*. Mặc dù kiến thức về chuyển động là cơ bản, sự mô tả chính xác của nó không dẫn đến việc mô tả 'mọi điều': chỉ cần giải bài toán hôn nhân bằng phương trình Schrödinger là ta thấy sự khác biệt.

Nếu xem chuyển động là nền tảng thì trong Vật lý mọi mệnh đề về các thí nghiệm cần phải *chính xác* hết mức. Vì lý do này, nhiều tư tưởng gia đã nghiên cứu các mệnh đề vật lý thật cẩn thận bằng cách sử dụng các tiêu chuẩn hết sức khắt khe. *Vật lý là các câu chuyện tầm phào chính xác của những kẻ hiếu kỳ về các vật chuyển động.* Chính xác là gì? Điều này xuất hiện một khi chúng ta hỏi: sự tầm phào đó đòi hỏi những khả năng gì? Bạn có thể tự trả lời trước khi đọc tiếp. Câu đố 232 e

Các khả năng cần thiết để nói chuyện là chủ đề nghiên cứu cho tới tận bây giờ. Cách mà loài người kiếm được khả năng để trao đổi về chuyển động đã được các nhà sinh học về tiến hoá nghiên cứu. Các nhà tâm lý học trẻ em nghiên cứu cách mà khả năng này

** 'Mọi vật mà ta có thể nghĩ tới thì đều có thể nghĩ tới một cách rõ ràng.' Trích dẫn này và các trích dẫn của Ludwig Wittgenstein được lấy từ tác phẩm ngắn và nổi tiếng *Tractatus logico-philosophicus*, được viết năm 1918, xuất bản lần đầu năm 1921; hiện nay nó đã được dịch sang nhiều ngôn ngữ khác.



HÌNH 173 Ludwig Wittgenstein (1889–1951).

phát triển trong một cá thể. Các nhà sinh lý học, các nhà thần kinh học và các nhà khoa học về máy tính quan tâm tới cách mà não bộ và các giác quan tạo ra khả năng này; các nhà ngôn ngữ học tập trung vào các tính chất của ngôn ngữ mà ta sử dụng, trong khi các nhà luận lý học, toán gia và triết gia của khoa học nghiên cứu các tính chất tổng quát của các mệnh đề đúng về thiên nhiên. Mọi lĩnh vực này đều nghiên cứu các công cụ chủ yếu dành cho sự phát triển của Vật lý, sự tìm hiểu về chuyển động và các đặc trưng của các khái niệm chưa định nghĩa đã liệt kê ở trên. Các lĩnh vực này tạo thành cuộc thám hiểm sau đây.

Sự tiến hoá

> “Con gà chỉ là một cách để một cái trứng tạo thành một cái trứng khác.”
> Samuel Butler, *Life and Habit*.

Sự tiến hoá của loài người là kết quả của một câu chuyện dài đã được kể trong nhiều
Xem 208 quyển sách tuyệt vời. Một bảng tóm tắt lịch sử vũ trụ bao gồm sự tiến hoá đã được cho trong cuộc thám hiểm Thuyết tương đối tổng quát. Chuỗi các sự kiện khó tin dẫn tới sự
Quyển II, trang 235 hiện hữu của riêng một người bao gồm sự hình thành các hạt nhân, nguyên tử, thiên hà, ngôi sao, hành tinh, Mặt trăng, khí quyển, đại dương, những tế bào đầu tiên, động vật dưới nước, động vật trên cạn, động vật hữu nhũ, vượn người, con người, tổ tiên, dòng
Xem 209 họ và sau cùng, chính người đó.

Phương thức mà các nguyên tử tạo thành chúng ta, chuyển động trong chuỗi tiến hoá này, phát tán khắp không gian, rồi được thu thập trên Trái đất, được tổ chức để trở thành chất hữu cơ và con người, là một trong những thí dụ kinh khủng nhất về chuyển động. Việc ghi nhớ và tâm niệm về chuỗi chuyển động vũ trụ này có thể là một kinh nghiệm
Câu đố 233 e sâu sắc.

Đặc biệt, nếu không có sự tiến hoá sinh học, chúng ta không thể nói về chuyển động; chỉ có các vật chuyển động mới có thể nghiên cứu về các vật chuyển động. Không có sự tiến hoá, chúng ta không có bắp thịt, giác quan, thần kinh và não bộ. Không có não, chúng ta không thể suy nghĩ hay nói năng. Sự tiến hoá cũng là cội nguồn của thuở ấu thơ và tính hiếu học. Thật vậy, trong chương này và những chương kế tiếp ta sẽ thấy rằng phần lớn các khái niệm của Vật lý cổ điển đã được trẻ em nêu ra theo kinh nghiệm mà các bé có được trong khi phát triển.

Trẻ em, các định luật và Vật lý

> Vật lý gia có một thực tại được chia sẻ. Ngoài điều đó ra, không có một sự khác biệt thực sự giữa một vật lý gia và một kẻ tâm thần.
>
> Richard Bandler

Xem 210

Xem 211

Trong thời thơ ấu, mọi người đều là vật lý gia. Khi chúng ta lần theo ký ức ngược thời gian đi vào quá khứ xa xôi, đến một giai đoạn nào đó, ngay trước khi sinh, là điểm khởi đầu của kinh nghiệm. Trong thời khắc diệu kỳ đó, ta cảm nhận được một cái gì đó tách khỏi chúng ta, một điều khác lạ. Cái nhìn đầu tiên của chúng ta về thế giới trong lúc còn trong bụng mẹ là sự nhận thức rằng ta có hai phần phân biệt: chúng ta và thế giới còn lại. Sự phân biệt này là một thí dụ – có lẽ là đầu tiên – về một số lớn các 'định luật' của thiên nhiên mà ta gặp phải trong đời. Việc là một vật lý gia đã bắt đầu như vậy. Và nó đã tiếp tục. Bằng sự khám phá càng lúc càng nhiều sự khác nhau chúng ta đã tạo nên trật tự từ sự hỗn mang của kinh nghiệm. Ta sẽ nhanh chóng nhận ra rằng thế giới được tạo thành từ *các phần có liên hệ với nhau*, như mẹ, cha, sữa, mặt đất, đồ chơi, v.v... Ta chia các phần này thành các vật thể và hình ảnh.

Quyển I, trang 28

Sau đó, khi ta học nói, ta sẽ thích thú sử dụng các từ khó hơn và ta gọi các vật chung quanh là *môi trường*. Tuỳ theo ngữ cảnh, ta gọi toàn bộ chúng ta và môi trường là *thế giới* (vật lý), *vũ trụ* (vật lý), *thiên nhiên*, hay *vũ trụ*. Trong sách của chúng ta các khái niệm này không khác nhau;* Chúng ta lấy các khái niệm đó để chỉ tổng của tất cả các phần và các liên hệ của chúng. Chúng đơn giản được dùng ở đây để chỉ Cái toàn thể.

Khám phá về sự phân biệt ban đầu trong thiên nhiên khởi đầu cho một chuỗi các khám phá tương tự tiếp diễn suốt cuộc đời của chúng ta. Ta rút ra được nhiều sự khác biệt có thể là trong môi trường, trong cơ thể chúng ta và trong các loại tương tác khác nhau. Khả năng phân biệt là khả năng chính yếu cho phép ta thay đổi cái nhìn của chúng ta về thế giới từ một thế giới *hỗn độn* tức là một mớ lộn xộn, sang một thế giới *có hệ thống*, tức là một tập hợp có cấu trúc, trong đó các phần liên hệ với nhau theo những phương thức đặc biệt. (Nếu bạn thích chính xác, bạn có thể cân nhắc xem lựa chọn nào trong 2 lựa chọn 'hỗn độn' và 'hệ thống' là lựa chọn duy nhất có thể xảy ra.)

Câu đố 234 s

Đặc biệt, sự quan sát về sự khác nhau giữa con người và môi trường đồng hành với sự nhận thức rằng không những ta không độc lập với môi trường mà ta còn bị cột chặt vào nó bằng những cách không thể tránh khỏi: ta có thể ngã, đau đớn, cảm thấy nóng lạnh, v.v... Những mối quan hệ như vậy được gọi là *sự tương tác*. Tương tác biểu thị cho việc nhận thức rằng các phần của thiên nhiên dù phân biệt nhưng chúng không cô lập. Nói cách khác,

Trang 321

▷ Tương tác mô tả sự khác nhau giữa Toàn thể và Tổng các phần của nó.

Không thể xác định một phần nếu không có mối liên hệ của nó với môi trường. (Bạn có đồng ý không?)

Câu đố 235 e

* Sự khác nhau trong việc sử dụng có thể suy ra từ ngữ căn của chúng. 'World' được dẫn xuất từ tiếng Đức cổ 'wer' – người – và 'ald' – xưa cũ – và nghĩa gốc là 'cuộc đời'. 'Universe' thì từ tiếng Latin, để chỉ số 1 – 'unum' – cái mà ta thấy nó quay – 'vertere', căn cứ vào việc bầu trời đêm lấp lánh sao quay quanh sao Bắc cực. 'Nature' cũng từ tiếng Latin, có nghĩa là 'cái được sinh ra'. 'Cosmos' thì từ tiếng Hy Lạp κόσμος và nghĩa gốc là 'trật tự'.

Tương tác không có tính tuỳ tiện; chỉ cần lấy xúc giác, khứu giác hay thị giác làm ví dụ. Chúng khác nhau về phạm vi, cường độ và hệ quả. Ta gọi các mặt đặc trưng của tương tác là *các kiểu thức của thiên nhiên*, hay *tính chất của thiên nhiên*, hay *các quy luật của thiên nhiên* hay một cái tên tương đương, có tính lịch sử nhưng không thích hợp, là *'định luật' của thiên nhiên*. Thuật ngữ 'định luật' nhấn mạnh giá trị tổng quát của chúng; nhưng không may, nó cũng hàm ý kiểu mẫu, mục tiêu, sự ép buộc và sự trừng phạt nếu vi phạm. Tuy vậy, không có kiểu mẫu, mục tiêu hay sự ép buộc nào trong các tính chất của thiên nhiên lẫn sự vi phạm. Thuật ngữ nhập nhằng 'định luật của thiên nhiên' đã do René Descartes (b. 1596 La Haye en Touraine, d. 1650 Stockholm) phổ biến và đã được thừa nhận một cách nồng nhiệt vì người ta đã coi trọng 'pháp luật' – vào thời đó, khó mà hoàn hảo – và luật lệ của các tổ chức – hiếm khi hoàn hảo. Cách phát biểu này là một chủ thuyết nhân hình được sinh ra từ một thế giới quan độc đoán, chủ trương rằng thiên nhiên bị ta 'cai quản'. Do đó ta sẽ hạn chế sử dụng thuật ngữ này trong sách và nếu vậy, khi ta sử dụng, nó sẽ nằm trong hai dấu nháy đơn. Ta không thể ép buộc thiên nhiên. 'Các định luật' của thiên nhiên không phải là sự ràng buộc đối với thiên nhiên hay các phần của nó, chúng chỉ là sự ràng buộc đối với vật lý gia và tất cả những người khác: các kiểu thức của thiên nhiên chỉ buộc chúng ta sử dụng sự mô tả nào đó và loại bỏ các điều khác. Khi người nào nói rằng 'các định luật điều khiển thiên nhiên' thì người đó đang nói những điều nhảm nhí (hay đang xin tiền); mệnh đề đúng phải là *các quy luật mô tả thiên nhiên*.

Lúc còn bé ta đã biết phân biệt tương tác với môi trường hay *sự nhận thức*: một số được chia sẻ với người khác và được gọi là *sự quan sát*, một số có tính chất cá nhân và được gọi là *cảm giác*.* Vẫn còn một tiêu chuẩn chặt chẽ hơn về 'sự được chia sẻ' được sử dụng để chia thế giới thành 'thực tại' và 'tưởng tượng' (hay 'ước mơ'). Cuộc du hành của chúng ta – sau cùng – sẽ chứng tỏ rằng sự phân biệt này không quan trọng, miễn là ta trung thành với mục tiêu không ngừng gia tăng độ chính xác. Điều đáng ngạc nhiên là ta sẽ nhận thấy rằng sự mô tả chuyển động mà chúng ta đang tìm không phụ thuộc vào thế giới này 'thực' hay 'ảo', 'riêng' hay 'chung'. Các nguyên lý cơ bản của chuyển động
Quyển VI, trang 431
trong thực tế và trong giấc mơ thì như nhau. Tuy vậy, các nguyên lý giống nhau này cho phép ta phân biệt thực và ảo.

Con người sử dụng khả năng của họ để phân biệt các phần, mà trong các ngữ cảnh khác chúng còn được gọi là *chi tiết*, *phương diện* hay *thực thể*, và sử dụng khả năng này
Xem 213
để liên kết hay quan sát các *mối liên hệ* giữa chúng với nhau. Con người gọi hoạt động này là *phân loại*. Màu sắc, hình dạng, vật thể, mẹ, nơi chốn, con người và tư tưởng là một số thực thể mà con người khám phá đầu tiên.

Cơ thể của chúng ta có sẵn một công cụ để sử dụng hiệu quả các khám phá này: *ký ức*. Nó lưu trữ một lượng dữ liệu nhập to lớn mà sau đó được gọi là *kinh nghiệm*. Ký ức là một công cụ mà thanh thiếu niên sử dụng để tổ chức thế giới của mình và đạt được một sự an toàn nhất định trong thế giới hỗn mang này.

Sự phân loại có ghi nhớ được gọi là *các khái niệm*. Jean Piaget là nhà nghiên cứu đầu tiên mô tả ảnh hưởng của môi trường lên các khái niệm mà mỗi đứa trẻ đã hình thành. Dần dần trẻ em biết được rằng các vật thể định xứ trong không gian, không gian có 3 chiều, các vật rơi xuống, va chạm gây ra tiếng động, v.v... Đặc biệt, Piaget đã chứng tỏ

* Một đứa trẻ không có sự phân biệt trong nhận thức – và như vậy không thể nói dối – thì gần như chắc
Xem 212
chắn sẽ phát triển hay bị *rối loạn tự kỷ*, như các nghiên cứu về tâm lý gần đây cho thấy.

rằng không gian và thời gian không phải là các khái niệm tiên nghiệm, mà là kết quả của sự tương tác của trẻ với môi trường.*

Trong thời gian đi học, trẻ sẽ bắt đầu hiểu ý tưởng về *sự vĩnh cửu của vật chất*, thí dụ như chất lỏng và các khái niệm *ngược lại*. Chỉ ở giai đoạn đó thì kinh nghiệm chủ quan Xem 215 của trẻ mới trở thành kinh nghiệm *khách quan*, cùng với sự nhận thức trừu tượng. Sau đó sự mô tả thế giới của trẻ ngừng ở quan niệm duy linh: trước giai đoạn này, Mặt trời, một con suối hay một áng mây cũng *đầy sức sống*. Tóm lại, chỉ sau giai đoạn dậy thì, con người mới sẵn sàng cho Vật lý, khoa học về chuyển động.

Mặc dù mọi người đã từng là một nhà vật lý lúc còn trẻ, đa số chỉ ngừng ở vật lý *Galilei*, nơi vật chất được xem một cách gần đúng là liên tục và không gian thì phẳng. Trong cuộc phiêu lưu này ta đi nhanh hơn nhiều nhờ tận dụng mọi khả năng của một món đồ chơi mà tạo hoá đã ban cho ta: não bộ.

> Kinh nghiệm là tên mà mọi người đặt cho các sai lầm của họ.
>
> Oscar Wilde, *Lady Windermere's Fan*.

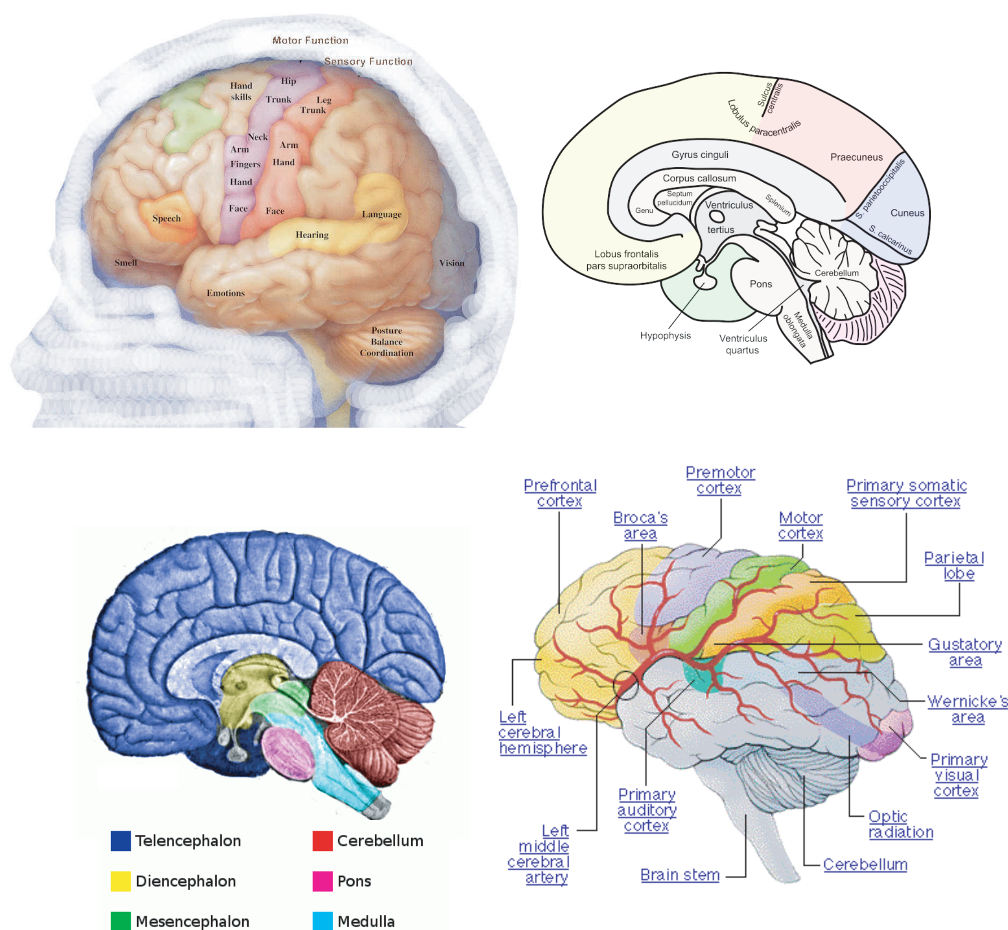
Điện tử học Polymer

* Một tổng quan về nguồn gốc của tâm lý học phát triển là của J. H. Flavell, *The Developmental Psychology of Jean Piaget*, 1963. Tác phẩm này tổng kết các quan sát của Jean Piaget (b. 1896 Neuchâtel, d. 1980 Geneva), một nhân vật có uy tín trong lĩnh vực này. Ông là một trong các nhà nghiên cứu tiên phong quan sát sự phát triển của trẻ em bằng phương pháp của một nhà vật lý quan sát thiên nhiên: quan sát kỹ lưỡng, ghi chú, làm thí nghiệm, rút ra giả thuyết, kiểm chứng giả thuyết, suy ra lý thuyết. Các bài báo tiếng tăm của ông, dựa trên các quan sát sâu rộng, bao trùm hầu như tất cả các giai đoạn phát triển của trẻ em. Đóng góp quan trọng của ông là sự mô tả chi tiết các giai đoạn phát triển của khả năng nhận thức của con người. Ông đã chứng minh rằng mọi khả năng nhận thức của trẻ, sự hình thành các khái niệm, cách suy nghĩ, khả năng nói v.v..., đều là kết quả của sự tương tác liên tục giữa trẻ và môi trường.

Đặc biệt, Piaget mô tả cách mà trẻ nhận biết chúng khác với môi trường bên ngoài và cách chúng học về các tính chất vật lý của thế giới. Trong nhiều quyển sách của ông có liên quan tới các khái niệm vật lý, có 2 quyển đặc biệt liên quan tới chủ đề của Quyển sách này là J. Piaget, *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*, Presses Universitaires de France, 1972 và *Le developpement de la notion de temps chez l'enfant*, Presses Universitaires de France, 1981, quyển sau cùng này được viết theo đề nghị của Albert Einstein. Các quyển sách này là sách mà mọi nhà vật lý và triết gia khoa học quan tâm đến đề tài này phải đọc.

Piaget cũng mô tả cách mà tri thức về toán học và ngôn ngữ, dẫn xuất từ tri thức về thực tế, về vận động cảm giác, tức là tri thức bắt nguồn từ tập quán và sự kết giao đã thu nhận được, tạo thành các khái niệm trong trẻ em. Tri thức thực tế cần có hệ thống phản xạ do các kết cấu giải phẫu học và hình thái học của cơ thể chúng ta cung cấp. Như vậy công trình của ông trình bày chi tiết về nền tảng của năng lực mô tả thế giới của chúng ta bằng toán học, và một cách gián tiếp, về sự tương tác vật lý của cơ thể chúng ta với thế giới.

Hiện nay, một số ý kiến của ông về tầm quan trọng của ngôn ngữ trong việc phát triển đã được hiệu Xem 214 chỉnh, đặc biệt là nhờ sự tái khám phá tác phẩm của Lev Vigotsky, người đã cho rằng mọi khả năng tư duy cao cấp, cảm xúc, hồi ức, lý trí, sự tự giác và tự nhận biết, đều không phải do bẩm sinh mà do học tập. Sự học tập diễn ra thông qua ngôn ngữ, văn hoá và đặc biệt thông qua quá trình độc thoại. Tại địa chỉ www.piaget.org bạn có thể tìm được website của công ty Jean Piaget Society.



HÌNH 174 Các phần và trắc diện của não bộ, tất cả đều không đúng màu thật (images WikiCommons).

BẢNG 18 Một số tính chất của não người.

Phương diện	Chi tiết	Tương đương phía máy tính
Phần cứng		
Ký ức cực ngắn	5 tới 9 khái niệm	cache
Hồi hải mã	bộ phát hiện sự mới lạ, ký ức không gian, học tập	RAM và bộ nhớ Flash
Hạch hạnh nhân	cảm xúc, học tập	bộ lập lịch ưu tiên của hệ điều hành
Thể vân bụng, bộ phận cung cấp dopamine và opioid	hệ khoái cảm	bộ lập lịch ưu tiên của hệ điều hành
Nhân chéo trên	điều khiển ngày đêm	bộ điều khiển chế độ ngủ

BẢNG 18 (Tiếp theo) Một số tính chất của não người.

Phương diện	Chi tiết	Tương đương bên máy tính
Neuron trong não	$86(8) \cdot 10^9$	điện tử học lưu trữ và truy xuất
Neuron trong vỏ não	nữ *c.* $19(2) \cdot 10^9$, nam $22(2) \cdot 10^9$	đĩa cứng và bộ vi xử lý
Tế bào đệm thần kinh	như số neuron	kết cấu cung cấp năng lượng
Số Neuron phân huỷ	nữ: $e^{3.05-0.00145 \cdot \text{age}/a} \cdot 10^9$, nam: $e^{3.2-0.00145 \cdot \text{age}/a} \cdot 10^9$	sự trầy xước đĩa cứng
Xung trao đổi giữa 2 bán cầu não	$4 \cdot 10^9/s$	tốc độ bus nội
Số synapse mỗi neuron	10^4	
Tổng số liên kết synapse	*c.* $2 \cdot 10^{14}$	ô nhớ
Đường nhập liệu từ mắt	*c.* $2 \cdot 10^6$	dây dẫn trong máy ảnh
Đường nhập liệu từ tai	*c.* $2 \cdot 3000$	dây microphone, dây cảm biến độ nghiêng
Đường nhập liệu từ da, miệng, mũi	*c.* $0.5 \cdot 10^6$	giao diện cảm biến
Dung lượng tín hiệu nhập (tổng cộng, 300 xung/s mỗi đường)	*c.* 100 MB/s	băng thông nhập
Đường xuất liệu (bắp thịt, cơ quan)	*c.* $1.5 \cdot 10^6$	giao diện bộ dẫn động và động cơ
Dung lượng tín hiệu xuất (tổng cộng, 300 xung/s mỗi đường)	*c.* 50 MB/s	băng thông xuất
Ước lượng về khả năng xử lý – có thể hơi nhỏ, không đáng kể	10 PFlop	hàng chục siêu máy tính
Khối lượng điển hình (não Einstein)	1.230 kg; thay đổi từ 0.7 tới 2.0 kg	0.001 tới 5000 kg
Năng lượng tiêu thụ (trung bình)	1600 tới 2200 kJ/d hay 18 tới 25 W (với 750 ml/min máu)	1 W tới 20 kW
Đời sống	130 năm	2 năm hay hơn
Kích thước	0.14 m 0.17 m 0.09 m	từ vài cm^3 tới 1 m^3
Phần mềm và sự xử lý		
Học	sự thay đổi cường độ liên hợp thần kinh nhờ sự tăng cường đáp ứng dài hạn	kích hoạt, phân loại, lưu trữ
Giấc ngủ sâu và lưu trữ kiến thức	sự ghi chép có tổ chức từ hồi hải mã tới vỏ não	xoá và chép lưu vào đĩa cứng

BẢNG 18 (Tiếp theo) Một số tính chất của não người.

Phương diện	Chi tiết	Tương đương bên máy tính
Giấc ngủ REM (chuyển động mắt nhanh, hay giấc mơ)	xử lý ngoại tuyến	nén dữ liệu trong quá trình xử lý theo lô

Não là thiết bị điện tử. Điều này được chứng minh rõ ràng vào năm 1924, khi nhà thần kinh học Hans Berger (b. 1873 Neuses, d. 1941 Jena) đã ghi và đặt tên cho *điện não đồ* đầu tiên. Một điện não đồ hiện đại được trình bày trong Hình 176.* Nói chi tiết hơn, não là một thiết bị polymer linh hoạt, không chứa kim loại, đời sống ngắn, nhạy cảm, không tin cậy. Ngoài ra, mọi thiết bị polymer điện tử đều có chung tính chất này. Độ tin cậy cao là lý do chính, khiến cho điện tử thương mại thường dựa trên silic thay vì trên polymer.

Điện tử polymer tạo nên bộ não được tổ chức như một máy tính. Một số chi tiết về
Xem 216 tổ chức của nó được trình bày trong Bảng 18, Hình 174 và Hình 175. Mặc dù các khối chức năng của não và máy tính giống nhau một cách kỳ lạ, cơ chế hoạt động của chúng lại khác nhau hoàn toàn.

Xem 217 Giống như một máy tính, não bao gồm nhiều phần *dành riêng cho* các tác vụ đặc biệt và một phần có chức năng tính toán *tổng quát*, chất xám. Sự phân chia giữa hai phần gần như 50-50. Năng suất tính toán trong máy tính hiện đại cũng được phân chia như vậy; thí dụ như card đồ hoạ cũng mạnh như CPU.

Trong một hai thế hệ nữa, tiêu đề phần này có thể đổi thành 'làm cách nào để chế tạo một bộ não'. Tuy nhiên điều không may là người ta chưa đủ kiến thức để hoàn thành mục tiêu này. Có lẽ bạn sẽ là người góp phần trong sự theo đuổi này chăng?

Tại sao lại là não bộ?

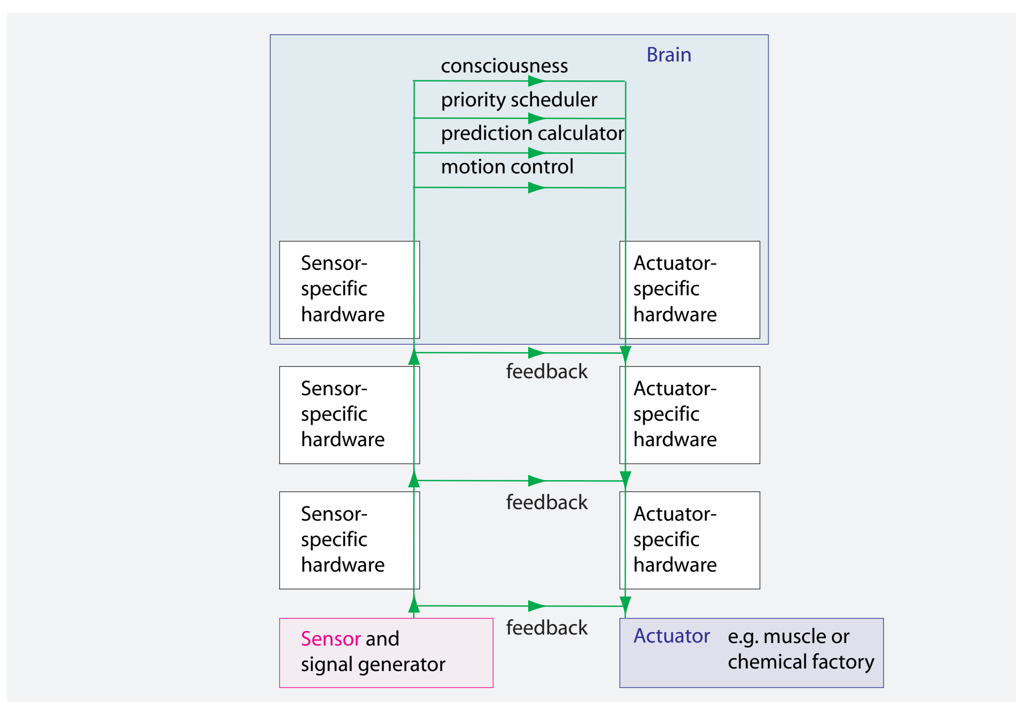
> "Denken ist bereits Plastik.**"
>
> Xem 218 Joseph Beuys.

Não điều khiển chuyển động của một sinh vật. Chuyển động của sinh vật càng phức tạp thì não của nó càng lớn. Sinh vật không di chuyển như cây cối sẽ không có não. Sinh vật ngừng di chuyển, như loài *hải tiêu* (hay *Ascidiacea*) tiêu hoá não của chúng khi chúng gắn mình vào đá dưới biển.

Não bộ – cùng với một số phần của hệ thần kinh trung ương – điều khiển chuyển động bằng cách xử lý dữ liệu thu nhận từ các giác quan khác nhau rồi gởi kết quả xử lý cho các cơ khác nhau trong cơ thể. Nhiều thí nghiệm đã chứng tỏ rằng nhập liệu từ các giác quan đã được xử lý tức là phân loại, lưu trữ và truy lục trong não bộ. Điều đáng chú ý là các tổn thương não có thể dẫn tới sự mất mát một phần hay tất cả các chức năng
Xem 219 này. Trong các hệ quả quan trọng của các khả năng cơ bản này có tư duy và ngôn ngữ.
Xem 220 Mọi khả năng của não bộ đều do kết cấu này, tức là 'phần cứng' của não.

* Trong các tín hiệu điện do não tạo ra, người ta phân biệt *tín hiệu không đều* trong khi xử lý dữ liệu, *sóng beta*, chủ yếu trong khi chú ý, với tần số từ 14 đến 30 Hz, *sóng alpha*, trong khi thư giãn, với tần số từ 8 đến 13 Hz, *sóng theta*, trong lúc bắt đầu ngủ, và trong giấc ngủ (REM chuyển động mắt nhanh), với tần số từ 3 đến 7 Hz, và *sóng delta*, trong giấc ngủ sâu, với tần số từ 0.5 tới 2 Hz.

** 'Tư duy đã là điêu khắc.' Joseph Beuys (b. 1920 Krefeld, d. 1986 Düsseldorf) điêu khắc gia nổi tiếng.



HÌNH 175 Cấu trúc tổng quát của hệ thần kinh, với một số các vòng hồi dưỡng điển hình của nó và một số thí dụ về phần cứng loại cảm biến.

Hệ thống có khả năng suy ra cách phân loại từ dữ liệu mà chúng thu nhận được gọi là *các bộ phân loại* và có khả năng *học tập*. Não chúng ta có chung tính chất này với nhiều hệ phức tạp. Não của nhiều động vật và nhiều giải thuật tính toán như 'mạng thần kinh', là thí dụ về các bộ phân loại. Các bộ phân loại được nghiên cứu trong nhiều lĩnh vực từ Sinh học tới Thần kinh học, Toán học và Điện toán. Tất cả các bộ phân loại đều có khả năng kép để phân biệt và kết hợp; hai khả năng này đều là nền tảng cho tư duy.

Xem 221

Xem 222

Các máy phân loại có nhiều điểm chung với não. Theo một giả thuyết quan trọng gần đây trong sinh học tiến hoá, nhu cầu làm mát cho não bộ một cách hiệu quả là nguyên do của sự đi thẳng trên 2 chân của loài người. Não sử dụng gần 1/4 năng lượng trong cơ thể cần một hệ làm mát mạnh mẽ để hoạt động tốt. Về mặt này, não giống máy tính hiện đại, thường có quạt mạnh hay ngay cả hệ làm mát bằng nước gắn bên trong máy. Hoá ra loài người có hệ làm mát mạnh nhất trong muôn loài động vật. Tư thế đứng thẳng giúp cho không khí làm mát cơ thể một cách hữu hiệu nhất trong môi trường nhiệt đới nơi con người sinh sống. Để sự làm mát tốt hơn, loài người cũng không có lông trên khắp cơ thể, trừ đầu, nhằm bảo vệ cho não không bị Mặt trời nung nóng trực tiếp. Tư thế đứng thẳng cũng cho phép con người hô hấp độc lập với bước chân, một ưu thế mà nhiều loài không có. Khả năng này gia tăng tác dụng làm mát và cho phép con người phát triển tiếng nói. Ngôn ngữ làm não thêm phát triển.

Xem 223

Mọi máy phân loại đều được chế tạo từ các *đơn vị phân loại* nhỏ nhất, đôi khi là một số rất lớn. Thông thường các đơn vị nhỏ nhất này có thể phân loại nhập liệu thành *2* nhóm khác nhau. Số đơn vị này, tức là 'neuron', tương tự như não, càng lớn, máy phân



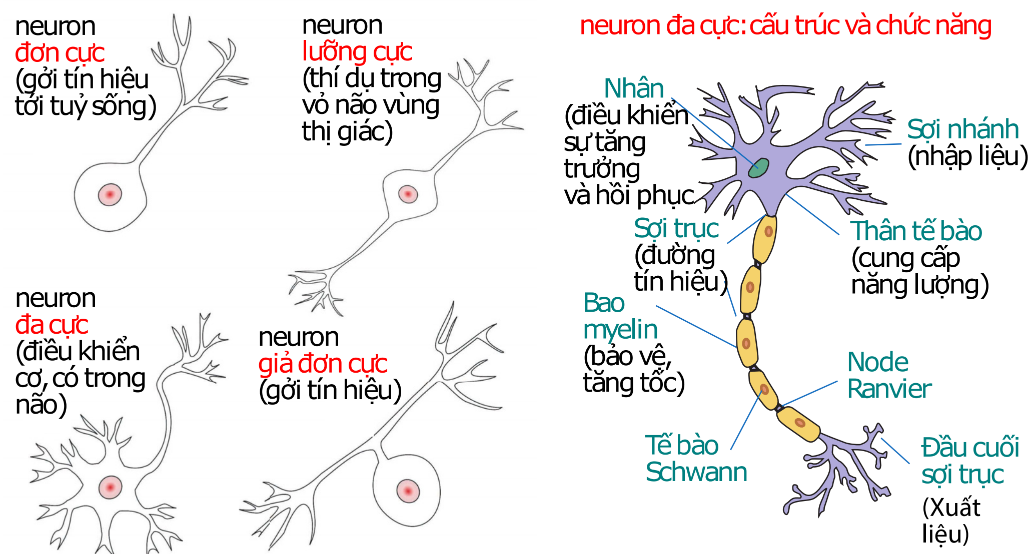
HÌNH 176 Một điện não đồ hiện đại, ghi ở nhiều vị trí của đầu. Hiệu thế đo được khoảng 0.1 mV (© Wikimedia).

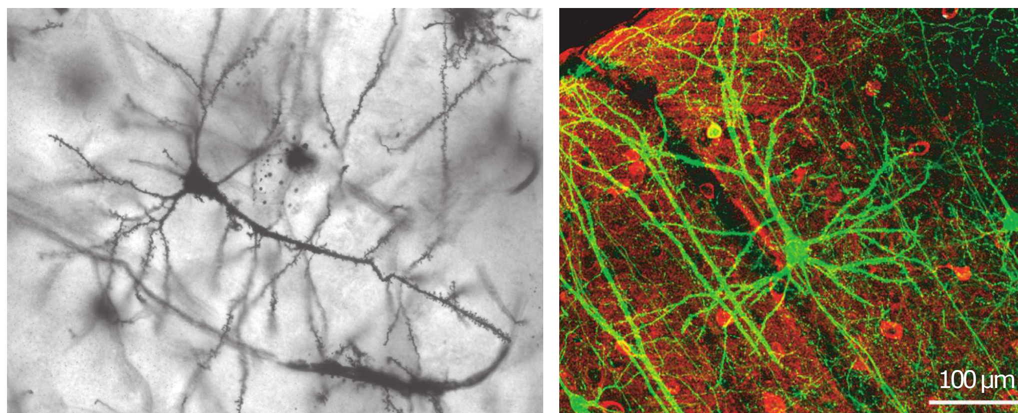
Xem 224 loại càng tạo ra được các phân loại phức tạp. Máy phân loại hoạt động bằng cách áp dụng các tổ hợp phức tạp ít hay nhiều của 'giống' và 'khác'. Sự phân biệt của trẻ em về các vật đỏ và xanh là một sự phân loại như vậy; sự phân biệt các nhóm đối xứng chuẩn compact và không-compact trong Thuyết lượng tử là sự phân loại tinh tế hơn nhưng cũng căn cứ vào khả năng cơ bản giống như vậy.

Neuron và mạng

Trong não, các đơn vị phân loại là *neuron*. Neuron là các tế bào được chuyên biệt hoá để xử lý, sản xuất và vận chuyển tín hiệu điện. Trong não, đơn vị phân loại chính là neuron *đa cực*. Giống như các đơn vị phân loại khác, chúng có các kênh nhập và xuất dữ liệu. Các neuron như vậy chỉ sản xuất 2 loại tín hiệu xuất: một xung điện có chiều cao và thời gian cố định hoặc không có tín hiệu.

Trong tất cả các máy phân loại, các đơn vị phân loại nhỏ nhất *tương tác* với nhau. Thường nhưng không luôn luôn, các tương tác này truyền qua các kết nối. Đối với neuron, kết nối là các sợi nhánh và sợi trục. Toàn bộ cấu hình như vậy tạo thành một *mạng*. Trong các kết nối này, các tín hiệu được trao đổi, thông qua các vật chuyển động như electron hay photon. Như vậy ta đi đến kết luận là khả năng phân loại thế giới vật lý của não – thí dụ như phân biệt các vật chuyển động tương tác với nhau – có được là





HÌNH 177 Một tổng quan về 4 loại neuron chính, một sơ đồ của một neuron đa cực và 2 ảnh của mô não được nhuộm màu (© Wikimedia, Wikimedia, MethoxyRoxy, Wei-Chung Allen Lee & al.)

nhờ não được cấu tạo từ các vật thể chuyển động tương tác với nhau. Con người không thể trở thành một loài động vật thành công như vậy nếu không có sẵn các bộ phân loại mạnh mẽ. Và chỉ có các chuyển động trong não mới cho phép ta nói về chuyển động dưới dạng tổng quát.

Nhiều nhà nghiên cứu đang xác định các phần của não được sử dụng khi ta thực hiện các tác vụ trí não. Những thí nghiệm như vậy có thể sử dụng phép chụp ảnh cộng hưởng từ và các kỹ thuật chụp ảnh tương tự. Các nhà nghiên cứu khác đang tìm hiểu cách mô hình hoá các quá trình tư duy từ cấu trúc của não. Thần kinh học hiện đại vẫn tiến bộ đều đặn. Đặc biệt, các nhà thần kinh học đã huỷ hoại niềm tin rằng tư duy thì *cao hơn* một quá trình vật lý. Sai lầm này là kết quả của các nỗi lo sợ riêng tư khác nhau và bạn có thể tự chiêm nghiệm điều này. Nỗi lo sợ và niềm tin sẽ biến mất theo thời gian. Bạn

Quyển V, trang 162

Câu đố 236 s có thể chứng minh rằng tư tưởng chỉ là các quá trình vật lý không?

Sự tiến hoá khiến não phát triển hết khả năng để trở thành một công cụ trợ giúp con người vượt qua mọi thử thách của cuộc đời. Não người rất lớn vì 2 lý do: dữ liệu về cảm giác thì mênh mông và việc xử lý thì phức tạp. Nói cụ thể hơn, não rất lớn để có thể xử lý những gì ta nhìn thấy. Lượng thông tin mà mắt cung cấp cho não thực sự khổng lồ.

Thông tin là gì?

> Các tư tưởng này không đến dưới dạng các phát biểu bằng lời. Tôi hiếm khi nghĩ nó thành lời. Một tư tưởng vụt đến và sau đó tôi mới thử phát biểu nó thành lời.
>
> Albert Einstein

Xem 225

Ta đã bắt đầu cuộc phiêu lưu bằng cách nghiên cứu các phương tiện vật lý để nói về chuyển động. *Nói* là truyền tin. Thông tin có đo được không? Ta có thể đo được sự tiến bộ của vật lý bằng cách này không? Vũ trụ có được tạo thành từ thông tin không? Để trả lời các câu hỏi này, ta bắt đầu với một định nghĩa.

▷ Thông tin là kết quả của một sự phân loại.

Sự phân loại là câu trả lời cho một hay nhiều câu hỏi có-không. Những câu hỏi như vậy là sự phân loại đơn giản nhất; chúng cung cấp các *đơn vị* cơ bản của sự phân loại, từ đó ta xây dựng các phân loại khác. Do đó,

▷ Thông tin được đo bằng cách đếm các câu hỏi có-không được hiểu ngầm, số *bit*, dẫn tới nó.

Thí dụ về thông tin được cho trong Bảng 19.

Bạn có thể cho biết cần bao nhiêu bit để xác định nơi mà bạn đang sống không? Dĩ nhiên số bit phụ thuộc vào tập hợp câu hỏi mà chúng ta bắt đầu; đó có thể là tên mọi con đường trong một thành phố, tập hợp tất cả các toạ độ trên mặt đất, tên của mọi thiên hà trong vũ trụ, tập hợp mọi tổ hợp ký tự trong địa chỉ. Phương pháp nào mà bạn nghĩ
Câu đố 237 s là hiệu quả nhất? Một biến thể của phương pháp tổ hợp được sử dụng trong máy tính. Thí dụ như câu chuyện về cuộc phiêu lưu hiện tại cần khoảng 9 tỷ bit thông tin. Nhưng vì lượng thông tin trong câu chuyện phụ thuộc vào tập hợp câu hỏi mà chúng ta bắt đầu nên ta không thể xác định độ đo chính xác của thông tin bằng cách này.

BẢNG 19 Một số độ đo của thông tin.

Loại thông tin	Lượng thông tin
Số từ trung bình do một người đàn ông nói ra trong 1 ngày	*c.* 5000
Số từ trung bình do một người đàn bà nói ra trong 1 ngày	*c.* 7000
Số bit do tai xử lý	1 tới 10 Mbit/s
Số tế bào nhạy sáng trên mỗi võng mạc (120 triệu tế bào hình que và 6 triệu tế bào hình nón)	$126 \cdot 10^6$
Số bit do mắt xử lý	1 tới 10 Gbit/s

BẢNG 19 (Tiếp theo) Một số độ đo của thông tin.

Loại thông tin	Lượng thông tin
Số từ được nói trong một đời (2/3 thời gian thức, 30 từ/phút)	$3 \cdot 10^8$
Số từ được nghe và đọc trong một đời	10^9
Số ký tự (số cặp base) trong DNA đơn bội của người	$3 \cdot 10^9$
Số xung trao đổi giữa 2 bán cầu não mỗi giây	$4 \cdot 10^9$
Số bit trong một CD	$6.1 \cdot 10^9$
Số neuron trong não người	$86(8) \cdot 10^9$
Số từ được in trong những quyển sách (khác nhau) trên khắp thế giới (*c.* $100 \cdot 10^6$ các quyển sách gồm 50 000 từ)	*c.* $5 \cdot 10^{12}$
Số bit nhớ trong não người	$> 10^{16}$
Số điểm ảnh nhìn thấy trong một đời: $3 \cdot 10^9$ s (một đời) ·2/3 (thức) ·10^6 (các mối liên kết với não) /15 ms (tốc độ mắt) Xem 257	10^{17}
Số bit thông tin được xử lý trong một đời (số trên nhân cho *c.* 32)	10^{19}

Cách duy nhất để đo thông tin một cách chính xác là lấy tập hợp câu hỏi khả hữu lớn nhất mà người ta có thể hỏi về một hệ thống và so sánh nó với những gì được biết về hệ thống đó. Trong trường hợp này lượng thông tin không biết được gọi là entropy, một khái niệm mà ta đã gặp. Với khái niệm này bạn có thể tự suy ra được là người ta có thể đo được sự tiến bộ của Vật lý hay không.

Quyển I, trang 395
Câu đố 238 s

Vì sự phân loại hay phân nhóm là một hoạt động của não và các máy phân loại tương tự khác, thông tin được định nghĩa ở đây là một khái niệm áp dụng cho kết quả của các hoạt động của người và các máy phân loại đó. Tóm lại, thông tin được phát sinh khi ta nói về vũ trụ.

Thông tin là kết quả của sự phân loại. Điều này hàm ý là vũ trụ *không giống như* thông tin. Số quan điểm đối nghịch với quan điểm này đang tăng lên; tuy vậy, đây là một sự nối tắt khái niệm. Sự truyền tin dẫn tới sự tương tác; nói theo kiểu vật lý thì điều này có nghĩa là mọi thông tin đều cần *năng lượng* để truyền và *vật chất* để lưu trữ. Không có một trong hai điều này, không có thông tin. Nói cách khác, vũ trụ cùng với vật chất và năng lượng của nó phải có *trước* sự truyền tin. Việc nói rằng vũ trụ *làm bằng* thông tin hay nó *là* thông tin là điều vô nghĩa giống như nói rằng vũ trụ làm bằng kem đánh răng.

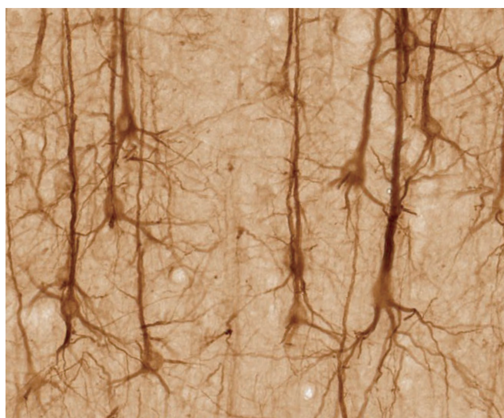
Mục tiêu của Vật lý là cung cấp sự phân loại *đầy đủ* của mọi loại và mọi thí dụ về chuyển động, nói cách khác là biết mọi điều về chuyển động. Có thể làm được điều này không? Hay bạn có thể tìm ra một luận chứng chống lại nỗ lực này không?

Câu đố 239 s

Ký ức là gì?

> "Não là cơ quan yêu thích thứ nhì của tôi."
> Woody Allen

Ký ức là tập hợp các mẫu tin về nhận thức. Sự tạo ra các mẫu tin như vậy là mặt cốt yếu của sự quan sát. Các mẫu tin có thể lưu trữ trong ký ức của người, tức là trong não hay trong bộ nhớ của máy tính, hay các ghi nhớ về vật, như các ghi chú trên giấy. Không có ký ức thì không có khoa học, không có đời sống – vì đời sống dựa trên các mẫu tin bên trong DNA – và đặc biệt, nói một cách nghiêm túc, là điều đã được chứng minh bằng



HÌNH 178 Ảnh của các neuron hình tháp được nhuộm màu trong vỏ não của não người, cho thấy sự liên kết của chúng (© Medlat.)

Xem 219 cuộc đời buồn bã của những người mất trí nhớ.

Nhiều động vật và người có ký ức vì ký ức giúp ta vận động sao cho khả năng sinh sản và sinh tồn lớn nhất. Ký ức có trong mọi loài động vật hữu nhũ nhưng cũng có trong côn trùng và ốc sên. Loài ốc biển nổi tiếng *Aplysia californica* có ký ức – có điều kiện, giống như các con chó của Pawlow – mặc dù nó chỉ có 20 000 neuron. Các thí nghiệm chứng tỏ rằng ký ức riêng *dài hạn* này được lưu trữ trong cường độ liên kết của các *synapse*. Khẳng định này là của nhà tâm lý học Canada Donald Hebb đưa ra năm 1949. Trong năm đó Hebb đã chỉ ra các biểu hiện vật lý của các thí nghiệm do các nhà tâm lý học Sigmund Freud và William James thực hiện từ thập niên 1890, là những người đã suy ra ký ức là sự tăng cường hay suy giảm của các liên kết bên trong não. Tóm lại, quan sát và học tập, mọi điều mà ta gọi là *ký ức*, được ghi trong các synapse.*

Mỗi mẩu tin hiển nhiên là một vật thể. Nhưng với điều kiện nào thì một vật thể được xem là một mẩu tin? Một chữ ký có thể là một mẩu tin của sự thoả thuận về một giao dịch thương mại. Một chấm mực nhỏ không phải là một mẩu tin vì nó có thể xuất hiện do sơ suất, một vết mực vấy bẩn. Trái lại, việc mực rơi trên giấy đúng theo hình dạng của chữ ký là điều không chắc sẽ xảy ra. (Chữ ký đơn giản của bác sĩ rõ ràng là một ngoại lệ.) Nói một cách đơn giản, một *mẩu tin* là một vật thể mà để sao chép nó ta phải giả mạo. Nói chính xác hơn một mẩu tin là một vật thể hay một tình trạng không thể sinh ra hay biến mất do lầm lẫn hay ngẫu nhiên. Ký ức cá nhân của chúng ta, dù là hình ảnh

---

* Não có các phương thức học, tức là lưu trữ ký ức dài hạn, khác nhau tuỳ theo phần cứng của nó. Học tập dài hạn luôn luôn căn cứ vào sự thay đổi cường độ của synapse hay vào sự tăng trưởng các synapse mới. Trong các biến cố gây thương tổn, não học trong vài giây để tránh tình trạng tương tự trong phần còn lại của cuộc đời nó. Trái lại, sự học tập ở trường có thể mất nhiều tháng cho một ý tưởng đơn giản. Đúng ra mọi vật đều có thể ảnh hưởng đến tính dễ dàng hay tốc độ của sự học tập; bằng cách gắn kết các hình ảnh, âm thanh, cảm xúc, ảo tưởng hay ký ức vào một chủ đề hay một tình huống, người ta có thể tăng tốc việc học và giảm nhẹ nỗ lực học tập một cách đáng kể.

Xem 226 Nghiên cứu đã chứng tỏ rằng trong hạch hạnh nhân, nơi cảm xúc và ký ức liên kết với nhau, enzyme calcineurin và gene điều tiết Zif268 rất quan trọng đối với ký ức bị thương tổn: mức calcineurin thấp dẫn tới sự biểu hiện của gene điều tiết gia tăng và tới việc ký ức bị thương tổn kéo dài hơn, mức cao sẽ làm giảm tác dụng thương tổn.

Đối với sự học tập dài hạn thông thường, các protein CPEB, đặc biệt là Orb2A và Orb2B, hình như có tác động làm tăng cường độ của synapse.

hay âm thanh, đều có cùng tính chất; ta có thể tin chúng vì chúng chi tiết đến nỗi không thể sinh ra trong não chúng ta do ngẫu nhiên hay từ các quá trình không kiểm soát.

Ta có thể ước tính xác suất để một mẫu tin xuất hiện hay biến mất do ngẫu nhiên không? Có. Mỗi mẫu tin được tạo thành từ N các thực thể nhỏ đặc trưng, thí dụ như số chấm mực có khả năng rơi trên giấy, số tinh thể sắt trong một băng cassette, số electron trong 1 bit của bộ nhớ trong máy tính, số hạt iodide bạc trong âm bản của ảnh, v.v... Sự nhiễu loạn ngẫu nhiên trong ký ức đều bắt nguồn từ các nội thăng giáng mà ta gọi là *nhiễu hay tiếng ồn*. Nhiễu làm cho mẫu tin không thể đọc được; nó có thể là vết bẩn trên chữ ký, sự thay đổi từ tính do nhiệt trong các tinh thể sắt, nhiễu điện từ trong bộ nhớ thể rắn, v.v... Nhiễu được tìm thấy trong mọi bộ phân loại vì nó vốn có trong mọi tương tác và trong mọi quá trình xử lý thông tin.

Có một tính chất chung là các nội thăng giáng bắt nguồn từ nhiễu đều giảm đi khi kích thước tức là số thành phần của mẫu tin tăng lên. Đúng ra xác suất p_{mis} để đọc hay
Câu đố 240 ny
ghi sai một mẫu tin thay đổi theo công thức

$$p_{\text{mis}} \sim 1/\sqrt{N} \,, \qquad (93)$$

trong đó N là số hạt hay hệ con được sử dụng để lưu trữ nó. Ta có hệ thức này vì đối với số lượng lớn thì *phân bố chuẩn* là sự gần đúng tốt nhất của gần như mọi quá trình. Đặc biệt, bề rộng của phân bố chuẩn, xác định xác suất của sai số của mẫu tin, tăng chậm hơn tích phân của nó khi số thực thể gia tăng; đối với số lớn, độ chính xác càng ngày càng tăng.

Ta có thể kết luận là một mẫu tin tốt phải được tạo thành từ một số *lớn* các thực thể. Số lượng càng lớn, bộ nhớ càng ít nhạy với các thăng giáng. Một hệ có kích thước lớn với các thăng giáng nhỏ được gọi là một *nguồn nhiệt động lực (vật lý)*. Chỉ có nguồn nhiệt động lực mới tạo ra bộ nhớ. Nói cách khác, mỗi mẫu tin đều chứa một nguồn nhiệt động lực. Ta đi đến kết luận: một *quan sát* bất kỳ của một hệ là sự tương tác của hệ đó với một nguồn nhiệt động lực. Mối liên hệ này sẽ được sử dụng nhiều lần trong phần tiếp theo, đặc biệt trong Thuyết lượng tử. Khi một mẫu tin được một máy tạo ra, 'quan sát' thường được gọi là một *phép đo (tổng quát)*. Bạn có thể xác định nguồn nhiệt động lực trong
Câu đố 241 s
trường hợp một người đang ngắm cảnh hay không?

Từ các phần bàn luận trước, ta có một kết luận quan trọng: vì ta có một ký ức tốt tuỳ ý sử dụng nên có thể suy ra chúng ta được tạo thành từ nhiều phần nhỏ. Và vì có các mẫu tin nên thế giới cũng phải được tạo thành từ một số lớn các phần nhỏ. Không cần kính hiển vi để khẳng định sự hiện hữu của phân tử hay các thực thể nhỏ tương tự; một công cụ như vậy chỉ cần để xác định *kích thước* của các hạt này. Ta có thể đơn giản suy ra sự hiện hữu của chúng từ việc ta có ký ức. (Dĩ nhiên cũng có các lập luận khác chứng minh rằng vật chất tạo thành từ các phần nhỏ bắt nguồn từ sự hiện hữu ở khắp nơi của
Quyển I, trang 339
tiếng ồn.)

Một kết luận thứ 2 do Leo Szilard công bố vào cuối thập niên 1920. Việc ghi vào bộ nhớ không nhất thiết tạo ra entropy; ta có thể lưu thông tin vào bộ nhớ mà không làm tăng entropy. Tuy vậy, entropy được sinh ra trong mỗi lần bộ nhớ *bị xoá*. Hoá ra entropy
Câu đố 242 e
(cực tiểu) do việc xoá 1 bit tạo ra là

$$S_{\text{mỗi bit bị xoá}} = k \ln 2 \,, \qquad (94)$$

và số $\ln 2 \approx 0.69$ là logarithm tự nhiên của 2. Như vậy việc xoá làm giảm độ mất trật tự của dữ liệu – entropy địa phương – nhưng lại làm tăng entropy toàn phần. Như ta đã biết, để làm giảm entropy của một hệ địa phương ta cần có năng lượng. Tóm lại, việc xoá bộ nhớ của một hệ thống bất kỳ cần có năng lượng. Thí dụ như cổng logic AND xoá 1 bit với mỗi thao tác. Như vậy tư duy hợp lý cần có năng lượng.

Ta cũng đã biết rằng *giấc mơ* có liên hệ với việc xoá và tái tổ chức thông tin. Có phải đó là lý do khi ta mệt mỏi, năng lượng cạn kiệt, thì ta không mơ nhiều như thường lệ Câu đố 243 s không? Trong các giấc mơ, não tái tổ chức các kinh nghiệm được tạo ra trong quá khứ. Giấc mơ kể lại cho chúng ta những hoạt động của vô thức. Mỗi người phải tự quyết định điều phải làm đối với những giấc mơ mà ta nhớ lại. Tóm lại, các giấc mơ không có ý nghĩa – ta là người cho chúng ý nghĩa. Trong mọi trường hợp, giấc mơ là một trong những cách mà não sử dụng ký ức một cách có hiệu quả.

Như vậy entropy sẽ được tạo ra khi ta quên. Điều này là rõ ràng khi ta nhớ lại rằng Xem 227 việc quên cũng giống như sự phong hoá của một cổ bản. Entropy tăng lên khi bản thảo không còn đọc được nữa vì quá trình này bất khả nghịch đảo và tiêu tán.* Còn một cách khác để thấy điều này là nhận xét rằng để xoá bộ nhớ, thí dụ như băng từ, ta phải đưa năng lượng vào trong nó và như vậy làm tăng entropy của nó. Ngược lại, *ghi* vào bộ nhớ thường *làm giảm* entropy; ta nhớ rằng các tín hiệu, các thực thể ghi vào bộ nhớ, mang entropy âm. Thí dụ như ghi vào băng từ thường làm giảm entropy của nó.

Khả năng của não bộ

> Máy tính thật chán. Chúng chỉ có thể cho các câu trả lời.
>
> Được gán nhầm cho Pablo Picasso

Não người được tạo ra theo một cách sao cho các thăng giáng không thể phá huỷ nội dung của nó. Não được xương sọ bảo vệ chính vì lý do này. Ngoài ra, não còn phát triển các liên kết, gọi là *synapse*, giữa các *neuron* là những tế bào xử lý tín hiệu. Neuron là phần tử xử lý cơ bản của não, thực hiện việc phân loại cơ bản. Nó chỉ có thể làm 2 việc: khai hoả hoặc không. (Có thể thời gian mà neuron khai hoả cũng mang thông tin; câu Xem 230, Xem 231 hỏi này chưa được trả lời.) Neuron khai hoả tuỳ thuộc vào nhập liệu được gởi đến thông qua các synapse từ hàng trăm neuron khác. Một neuron là một phần tử có thể phân biệt nhập liệu thành 2 trường hợp: khai hoả hoặc không. Như vậy neuron là các bộ phân loại đơn giản nhất, chỉ có thể phân biệt 2 trạng thái.

Mỗi lần ta chứa thông tin trong ký ức dài hạn, như số điện thoại, cường độ liên kết của synapse thay đổi hoặc các synapse mới được tạo ra. Sự liên kết giữa các neuron mạnh hơn các thăng giáng trong não rất nhiều. Chỉ có các nhiễu loạn mạnh, như mạch máu bị nghẽn hay một tổn thương não, mới có thể phá huỷ neuron dẫn tới mất trí nhớ.

Nói chung, não cung cấp một bộ nhớ cực kỳ hữu hiệu. Dù nỗ lực tột cùng, các kỹ

Xem 228 * Như Wojciech Zurek đã giải thích rõ, entropy sinh ra trong bộ nhớ là lý do chính giải thích cho việc con quỷ của Maxwell không thể làm giảm entropy của 2 thể tích khí bằng cách mở cửa ngăn chúng theo một cách sao cho các phân tử chuyển động nhanh tích tụ ở một bên và các phân tử chuyển động chậm tích tụ ở bên kia. (Maxwell đã giới thiệu 'con quỷ' vào năm 1871 để minh giải các giới hạn mà thiên nhiên đặt ra cho vị thần.) Đây chỉ là một cách diễn đạt khác, kết quả cũ kỹ của Leo Szilard, người đã chứng tỏ rằng các Xem 229 thao tác của con quỷ tạo ra nhiều entropy hơn là phần chúng làm giảm. Và mọi dụng cụ đo đều có bộ nhớ.

Để đóng vai con quỷ của Maxwell, hãy tìm một trong những trò chơi máy tính có trên internet.

sư vẫn chưa có thể chế tạo một bộ nhớ có khả năng như não với cùng một thể tích như vậy. Chúng ta hãy ước tính khả năng của bộ nhớ này. Bằng cách nhân số neuron khoảng 10^{11},* với số synapse/neuron trung bình, khoảng 100, và với số bit trung bình (theo ước tính) chứa trong mỗi synapse, khoảng 10**, ta đi đến một ước lượng dè dặt cho khả năng lưu trữ của não là

$$M_{\text{rewritable}} \approx 10^{14}\ \text{bit} \approx 10^{4}\ \text{GB}\ . \tag{95}$$

Một *byte*, viết tắt là B, là tên của 8 bit thông tin. Nên nhớ rằng sự tiến hoá đã thành công trong việc đặt nhiều neuron trong não như các ngôi sao trong thiên hà và nếu ta cộng tất cả chiều dài của các sợi nhánh, ta được chiều dài khoảng 10^{11} m, tương đương với khoảng cách từ Trái đất tới Mặt trời. Não chúng ta đúng là có tính chất phức tạp *theo kiểu thiên văn*.

Tuy vậy, cách ước tính tiêu chuẩn 10^{14} bit này không thực sự đúng! Nó giả sử rằng thành phần duy nhất chứa thông tin trong não là chiều dài synapse. Do đó nó chỉ đo khả năng lưu trữ *có thể xoá được* của não. Đúng ra thông tin có thể được lưu trữ trong các kết cấu của não, tức là trong các cấu hình chính xác mà theo đó mỗi tế bào được nối với các tế bào khác. Phần lớn các kết cấu này được cố định vào lúc 2 tuổi nhưng nó tiếp tục phát triển ở một mức độ thấp hơn cho phần còn lại của cuộc đời. Nếu giả sử rằng một trong N tế bào với n mối liên kết có $f\,n$ khả năng liên kết, khả năng *ghi 1 lần* của não có
Câu đố 244 e thể ước tính gần đúng là $N\sqrt{fn}\,fn\log fn$ bit. Với $N = 10^{11}$, $n = 10^{2}$, $f = 6$, ta được

$$M_{\text{ghi 1 lần}} \approx 10^{16}\ \text{bit} \approx 10^{6}\ \text{GB}\ . \tag{96}$$

Xem 232 Những chỗ biến đổi kết cấu của não có thể đo được. Các thí nghiệm gần đây chứng tỏ rằng người sử dụng 2 thứ tiếng, đặc biệt 2 cổ ngữ, có mật độ chất xám trong vùng vỏ não trên đỉnh của bán cầu não trái cao hơn. Đây là vùng chính liên quan đến việc xử lý ngôn ngữ. Như vậy não cũng sử dụng các chỗ biến đổi kết cấu để tối ưu hoá việc lưu trữ và xử lý. Sự biến đổi kết cấu cũng gặp ở một số đối tượng khác như trẻ tự kỷ, người đồng tính và trẻ em tăng động. Các trải nghiệm dữ dội và kéo dài trong thai kỳ hay thời thơ ấu hình như tạo ra sự thay đổi kết cấu như vậy.

Đôi khi có người nói rằng con người chỉ sử dụng từ 5 % tới 10 % khả năng của não. Câu chuyện thần thoại này, đi ngược lại thế kỷ 19, hàm ý rằng có thể đo được dữ liệu thực sự chứa trong não và so sánh nó với giá trị cực đại khả hữu. Ngoài ra, câu chuyện này cũng hàm ý rằng ta có thể đo được khả năng xử lý và so sánh với một khả năng cực đại khả hữu. Câu chuyện này cũng cho thấy thiên nhiên phát triển và duy trì một cơ quan có 90 % năng suất dư thừa, phí phạm năng lượng và vật liệu để chế tạo, sửa chữa và bảo trì nó. Câu chuyện thần thoại này sai. Hiện nay, người ta chưa thể đo được khả năng lưu trữ và xử lý của não mà chỉ có thể ước tính chúng mà thôi.

Khả năng lưu trữ lớn của não cũng cho thấy rằng ký ức của người được môi trường lấp đầy và không có tính bẩm sinh: một trứng + một tinh trùng có khối lượng khoảng 1 mg, tương đương với khoảng $3 \cdot 10^{16}$ nguyên tử. Hiển nhiên là hệ này không thể chứa 10^{16} bit do sự thăng giáng. Đúng ra thiên nhiên chỉ chứa khoảng $6 \cdot 10^{9}$ cặp base DNA

* Số neuron hình như không đổi và cố định kể từ lúc ra đời. Sự tăng trưởng của các mối liên kết cao nhất giữa 1 và 3 tuổi, lên tới 10^{7} mối liên kết/s.

** Đây là số trung bình. Một số loại synapse trong não, trong hồi hải mã, được biết là chỉ chứa 1 bit.

hay $12 \cdot 10^9$ bit trong các gene của một trứng chưa thụ tinh, bằng cách sử dụng $3 \cdot 10^6$ nguyên tử cho mỗi bit. Ngược lại một não điển hình có khối lượng từ 1.5 tới 2 kg và chứa khoảng 5 tới $7 \cdot 10^{25}$ nguyên tử, khiến cho nó trở thành một bộ nhớ hữu hiệu như một cái trứng. Sự khác nhau giữa số bit trong DNA và trong não chứng tỏ rằng hầu như mọi thông tin lưu trữ trong não được lấy từ môi trường bên ngoài; nó không thể có nguồn gốc di truyền, dù ta được phép giải nén một cách thông minh các thông tin được lưu trữ.

Tóm lại, mọi thủ thuật của thiên nhiên đã tạo thành một máy phân loại mạnh nhất từ trước đến nay.* Khả năng nhớ và phân loại của não có giới hạn không? Với những công cụ mà con người đã phát triển để mở rộng khả năng của não, trợ giúp cho trí nhớ như giấy, viết, in ấn và các toán gia đã phát triển nhiều công cụ để đơn giản hoá, rút gọn sự phân loại, khả năng phân loại bằng não chỉ bị giới hạn bởi thời gian cần dùng để tập Xem 233 luyện. Dĩ nhiên khi không có công cụ thì sẽ có các giới hạn nghiêm ngặt. Vỏ não dày 2 mm của người có diện tích khoảng 4 tờ giấy A4, của tinh tinh là 1 tờ và của khỉ là một tấm bưu thiếp. Người ta đã ước tính rằng bộ nhớ có thể truy cập được một cách thông minh, có bậc của

$$M_{\text{intellectual}} \approx 1\,\text{GB}\,, \tag{97}$$

mặc dù sai số thực nghiệm khá lớn.

Não cũng có khả năng xử lý chưa từng có. Điều này đã được chứng minh rõ ràng bằng những hệ quả quan trọng nhất dẫn xuất từ ký ức và sự phân loại: tư duy và ngôn ngữ. Thật vậy, các loại tư duy hay ngôn ngữ mà ta sử dụng như so sánh, phân biệt, nhớ lại, nhận biết, liên kết, mô tả, suy luận, giải thích, tưởng tượng, v.v..., đều mô tả các phương thức phân loại ký ức hay nhận thức khác nhau. Sau cùng, mỗi loại suy nghĩ hay đối thoại đều là sự phân loại trực tiếp hay gián tiếp các quan sát. Nhưng máy tính còn lâu mới đạt tới những điều này! Nỗ lực đầu tiên, vào năm 1966, là một chương trình vui nhộn của Joseph Weizenbaum: chương trình chatterbot Eliza nổi tiếng (hãy thử chương trình này tại www.manifestation.com/neurotoys/eliza.php3) là một sự nhái lại một nhà phân tâm học. Cho đến bây giờ, đã qua hơn 40 năm, việc đối thoại với một chương trình máy tính, như Friendbot (có thể tìm thấy tại www.friendbot.co.uk), vẫn còn là một trải nghiệm đáng thất vọng. Khả năng khổng lồ của não là nguyên do chính của sự thất vọng này.

Cũng cần nói thêm, mặc dù não của cá nhà táng và voi nặng hơn não người 5 hay 6 lần thì số neuron và liên kết, tức là khả năng lại thấp hơn con người. Ốc sên, kiến, cá nhỏ có số neuron cỡ 10 000; giun tròn *Caenorhabditis elegans* chỉ có 302 và các động vật khác còn ít hơn.

Những điều kỳ lạ về não và bộ nhớ

Giáo viên và học viên sẽ là các chuyên gia về não. Não học tốt nhất khi nó có một *mục tiêu*. Không mục tiêu, cả việc soạn bài giảng và trình bày bài giảng sẽ mất đi phần lớn tính hiệu quả của nó. Có bao nhiêu giáo viên cho biết mục tiêu bài học lúc bắt đầu bài giảng? Có bao nhiêu học viên đặt ra mục tiêu học tập?

* Năng lượng tiêu thụ của não cũng quan trọng: mặc dù nó chỉ chứa khoảng 2 % khối lượng cơ thể, nó lại dùng 25 % năng lượng do thực phẩm cung cấp. Não là lý do tại sao con người thích ăn trái cây.

Não cũng học tốt nhất khi nó được *khích lệ*. Học sinh khác nhau cần các động lực khác nhau: các ứng dụng tiềm năng, sự tò mò, sự ganh đua, sự kích hoạt các tri thức đã có, ấn tượng về người khác phái, hay việc khám phá các điều chưa biết. Và học sinh cần các động lực ở các mức độ khó khác nhau. Giáo viên nào có thể cung cấp được hỗn hợp này?

Sau cùng, não ở học sinh và học viên có cách khác nhau để *tạo ra khái niệm*: sử dụng từ, âm thanh, hình ảnh, cảm xúc, các giác quan, v.v... Giáo viên nào có thể phát biểu những điều này trong bài giảng của mình?

* *

Não luôn thực hiện những việc kỳ lạ trên người mang nó. Thí dụ như não luôn luôn tìm việc để làm. Nhiều thói quen và sự ham mê đều phát sinh theo cách này.

* *

Não thường ra lệnh cho người mang nó. Những nghiên cứu gần đây đã cho thấy học sinh có thể được phân thành 5 nhóm. Xem 234

1. Học sinh thông minh
2. Học sinh lãnh đạm
3. Học sinh tự cao (thường, nhưng không luôn luôn, là nam)
4. Học sinh tự ti (thường, nhưng không luôn luôn, là nữ)
5. Học sinh yếu đuối/sợ sệt

Ta nên nhớ điều này khi đứng lớp. Bạn thuộc nhóm nào?

* *

Nhiều hoạt động nhận thức của não đã được định vị trong những vùng đặc biệt của *vỏ não*, còn gọi là *chất xám* (hãy xem Hình 174). Người ta đã biết rằng chất xám được tạo ra từ một số lớn các kết cấu song song, độc lập với nhau gọi là *cột vỏ não mới*; chúng tương tự các bộ vi xử lý. Mỗi cột có input và output, nhưng hoạt động độc lập với nhau; nó cao khoảng 2 mm, đường kính 0.5 mm và chứa khoảng 1000 neuron nhiều loại khác nhau. Hãy ghé thăm trang neurolex.org/wiki/Category:Neuron để có danh sách. Vỏ não chứa nhiều triệu cột này, xếp thành 6 lớp. Hiện nay các nhà nghiên cứu đã có thể mô phỏng *một* cột vỏ não mới như *một* siêu máy tính. Để biết thêm chi tiết bạn hãy ghé thăm website bluebrain.epfl.ch. Tóm lại, não của bạn tương đương với nhiều triệu siêu máy tính. Hãy chăm sóc nó.

* *

Một tập ảnh đẹp của não có thể tìm thấy tại trang bigbrain.loris.ca. Trên website này, các nhà nghiên cứu trên thế giới thu thập các hình ảnh não đẹp nhất của các cuộc nghiên cứu gần đây. Xem 235

* *

Não có nhiều khía cạnh thú vị. Kỹ thuật *phản hồi sinh học thần kinh* là một thí dụ. Một vài điện cực được gắn trên da đầu và một vòng hồi dưỡng được tạo ra nhờ sự giúp đỡ của một màn hình hiển thị. Sự hiển thị như vậy giúp cho việc đưa một người vào trạng thái theta cao – tương ứng với sự thư giãn sâu –, hay trạng thái SMR – tương ứng với nghỉ ngơi và tập trung tư tưởng –, hay trạng thái alpha trội – tương ứng với sự thư giãn

với mắt nhắm. Việc học cách chuyển nhanh giữa các trạng thái này có ích cho vận động viên, nhà phẫu thuật, vũ công, nhạc sĩ, ca sĩ và trẻ em mắc hội chứng giảm chú ý. Sau một vài buổi làm việc, tác dụng kéo dài trên 1 năm. Đối với hội chứng giảm chú ý, kết Xem 236 quả cũng khả quan như khi dùng dược phẩm.

* *

Một khía cạnh thú vị của não người là phạm vi rộng lớn của *các đam mê* mà nó tạo ra. Thí dụ như có người có đam mê dành cả cuộc đời cho ca hát. Có người suốt đời dành cho việc phát minh các ngôn ngữ; John Ronald Tolkien là một trường hợp nổi tiếng nhất. Những người khác lại có đam mê giúp những kẻ sát nhân tìm thấy bình yên trong tâm trí. Một số người dành cả đời cho việc nuôi nấng các trẻ bất túc bị cha mẹ bỏ rơi. Người khác lại dành cả đời thực thi các giải pháp cấp tốc cho các bài toán hạ tầng cơ sở – nước, gas và điện – trong các thành phố có chiến tranh. Các thí dụ mà người ta tìm ra rất hấp dẫn.

* *

Nhiều chức năng trong não không được thực hiện bởi phần có thể lập trình được của não, vỏ não, mà bởi các phần cứng chuyên dụng. Danh sách các phần cứng chuyên dụng đã biết của não vẫn còn dài thêm, vì các khám phá vẫn còn xuất hiện.

Xem 237 Hình 174 chỉ cho thấy các vùng cơ bản. Các nhà nghiên cứu đã khám phá các neuron dành riêng cho việc điều khiển quá trình đi bộ của mỗi chân, – các *neuron gương* – tái hiện những điều mà người ta đang cảm giác hay hành động và các neuron dành riêng hướng từ mắt tới não, điều khiển chu kỳ ngày–đêm. Những khám phá gần đây đã bổ sung cho các kiến thức cũ là có những phần cứng chuyên dụng cho mỗi giác quan trong hệ thần kinh, từ xúc giác tới khứu giác và các cảm nhận trong cơ thể. Tóm lại, nhiều chức năng cơ bản của hệ thần kinh có liên kết với nhau và các chức năng cao cấp khác cũng vậy. Ta vẫn chưa có danh sách đầy đủ của các hệ có liên kết. Chỉ có các nghiên cứu trong tương lai mới giúp ta hiểu được bao nhiêu tiềm thức của chúng ta bắt nguồn từ phần cứng và bao nhiêu bắt nguồn từ phần mềm của vỏ não.

* *

Mèo là con vật thông minh và mọi người giao tiếp với chúng đều biết các hành vi và hoạt động của chúng phức tạp như thế nào. Tất cả đều được tổ chức bởi một bộ não có kích thước của một hạt óc chó, với khoảng 300 triệu neuron.

Điều thú vị là con người cũng có số neuron gần giống số neuron trong óc mèo ở một nơi bên ngoài não: bụng. Nhóm neuron này được gọi là hệ thần kinh ruột. Tập hợp các neuron này, trên 100 triệu, điều khiển hoạt động của các tế bào ruột – đặc biệt, lớp tế bào đầu tiên tiếp xúc với thức ăn – điều khiển việc sản xuất nhiều enzyme và chất dẫn truyền thần kinh, ảnh hưởng đến tâm trạng của chúng ta. 95 % serotonin được sản xuất trong ruột. Hoá ra việc điều trị chứng trầm cảm đòi hỏi việc xử lý ruột trước tiên lại là Quyển V, trang 54 một điều tốt. Hệ thần kinh ruột cũng xác định việc nôn có cần hay không, nó kích khởi chứng táo bón hay tiêu chảy, ảnh hưởng đến mức độ căng thẳng thần kinh, điều hoà hệ miễn dịch và điều khiển nhiều quá trình khác. Tóm lại, hệ thần kinh ruột là nền tảng cơ Xem 238 thể học cho các 'cảm giác ruột' và có lẽ cho hạnh phúc của chúng ta. Các nghiên cứu vẫn còn tiếp tục.

* *

Ta học tốt hơn nếu ta *ôn lại* những gì đã học. Thí nghiệm chứng tỏ rằng việc nhớ lại sẽ tăng cường các synapse và tăng cường ký ức. Ta học tốt hơn nếu ta biết *lý luận* về các điều ta đang học. Thí nghiệm chứng tỏ rằng tính nhân quả tăng cường các synapse.

* *

Ta học trong khi ngủ. Não lưu trữ phần lớn các điều mà ta trải nghiệm trong ngày trong một vùng gọi là *hồi hải mã*. Trong giấc ngủ sâu, tức là trong giấc ngủ không mơ, não chọn lọc những điều thuộc các trải nghiệm cần lưu trữ trong bộ nhớ dài hạn của nó, *vùng vỏ não mới*. Sự chọn lọc dựa trên những cảm xúc gắn liền với ký ức, đặc biệt là sự kích động, sợ hãi hay giận dữ. Nhưng sự mong chờ một phần thưởng – như một món quà hay khả năng tạo ra ấn tượng tốt khi được hỏi về một chủ đề – cũng có tác động mạnh trong việc chuyển thông tin vào vỏ não mới, như các nghiên cứu của Jan Born đã chứng tỏ. Nếu quy luật này đúng, ta nên ngủ sau khi học, và đặc biệt, ngủ sâu, là cách học tốt nhất. Phương thức hữu hiệu nhất để học một ngoại ngữ, một chủ đề mới hay ghi nhớ một bài thuyết trình là ngủ ngay sau khi học hay tập huấn.

Giấc ngủ sâu sẽ giúp ích cho việc học tập. Giấc ngủ sâu còn được đẩy mạnh theo nhiều cách. Sự nỗ lực, thể thao và ngay cả sự kích thích bằng điện cũng làm tăng giấc ngủ sâu. Công nghiệp dược phẩm đang thử điều chế các viên thuốc ngủ làm tăng giấc ngủ sâu. Rượu, đa số thuốc ngủ, TV, internet và các chấn thương làm giảm giấc ngủ sâu. Jan Born cho rằng có thể giấc ngủ giúp cho ta có khả năng học; chưa có lời giải thích có tính thuyết phục về sự mất ý thức trong giấc ngủ sâu.

Chúng ta ngủ như thế nào? Khi ta đang thức, mọi dữ liệu do giác quan thu nhận được gởi tới *đồi thị*, là bộ phận lọc và gởi nó tới vỏ não mới. Trong giấc ngủ vỏ não mới tắt đi một phần lớn đồi thị, sao cho gần như không có dữ liệu do giác quan thu nhận đến được vỏ não mới. Việc mô hình hoá các quá trình này có thể giúp cho ta hiểu được cách giấc ngủ bắt đầu và giúp ta mô phỏng các sóng não mà ta thấy lúc bắt đầu giấc ngủ.

Xem 239

* *

Nhiều kết quả nghiên cứu gần đây về động vật và não người có thể tìm thấy tại website Brain map, địa chỉ www.brain-map.org.

* *

Não và máy tính khác nhau rất nhiều trong cách hoạt động. Não có tính chất analog, máy tính có tính chất số. Máy tính hoạt động như thế nào? Câu trả lời tổng quát: máy tính là một tập hợp các công tắc điện tử thông minh và có tổ chức. Để làm cho công việc trở nên dễ dàng, bộ phận tính toán trong máy tính – được gọi là *đơn vị xử lý trung tâm*, trái tim của máy tính – tính toán bằng cách sử dụng số nhị phân. Các trạng thái 'on' và 'off' của một công tắc được liên kết với các chữ số '1' và '0'. Bạn có thể nghĩ ra một bộ các công tắc đơn giản cho phép cộng 2 số nhị phân có một chữ số hay có nhiều chữ số không? Và nhân 2 số? Hãy thử làm – đó là một bài tập thú vị.

Máy tính được gọi là máy tính *số* vì chúng dựa trên các công tắc. Thật vậy, mọi mạch tích hợp trong một máy tính bỏ túi hay trong một laptop chỉ là tập hợp các công tắc điện; các mẫu máy hiện đại có thể chứa nhiều triệu công tắc, mỗi công tắc có một chức năng riêng.

* *

Trong thai kỳ, não của phôi tăng trưởng với tốc độ 250 000 neuron/phút. Tốc độ này cho ta thấy đời sống là một quá trình hấp dẫn như thế nào.

* *

Sự truyền tín hiệu giữa não và cánh tay khác với sự truyền tín hiệu giữa não và chân. Khi não gởi một lệnh cho tay hay chân tới tuỷ sống, tuỷ sống sẽ gởi nó tới tay hay chân. Đối với cánh tay (và bàn tay) – nhưng *không* đối với chân – tuỷ sống gởi 1 bản sao của lệnh mà nó đang gởi ngược lại cho não. Sự hồi dưỡng này hình như khiến cho não xác định được lệnh vận động kế tiếp chính xác hơn. Như vậy cơ thể và não đã có các kỹ năng vận động bẩm sinh giúp cho ta có thể sử dụng ngón tay và bàn tay thật chính xác. Sự quan trọng của các kỹ năng vận động này đã được người Hy Lạp cổ biết đến; Anaxagoras đã nói rằng con người là sinh vật thông minh nhất vì họ có bàn tay.

* *

Chứng động kinh là một nhóm các rối loạn của não tác động đến nhiều người trên thế giới. Nó là một sai hỏng về điện của não. Nó dẫn đến các dao động điện đều đặn trong não và trong lúc đó người ta bị mất ý thức hay ngất đi. Chứng này cũng là một trong các nguyên do của chứng tự kỷ. Các khiếm khuyết về di truyền, do chấn thương hay các nguyên nhân khác, có thể kích khởi chứng động kinh. Nghiên cứu về chứng động kinh là một lĩnh vực rộng lớn.

Nhiều loại động kinh do di truyền bắt nguồn từ sự đột biến gene mã hoá các kênh ion. Khi các kênh ion không hoạt động đúng, nồng độ các cation như sodium không thích hợp, sẽ dẫn đến các sai hỏng về điện. Sự nghiên cứu về nguồn gốc của chứng động kinh đã cho thấy rằng một số đột biến gene không di truyền từ cha mẹ mà là đột biến *mới*: chúng chỉ có ở trẻ em.

* *

Các nhà nghiên cứu vẫn chưa dứt khoát trong việc liên hệ các khiếm khuyết gene với khuynh hướng quên các sự việc trong đời sống hằng ngày. Tuy vậy, người ta có thể đặt câu hỏi là một lỗi trong gene DRD2 có thực sự là nguyên nhân của việc quên nơi để chìa khoá xe hay không.

* *

Nhiều công tắc có 3 trạng thái; người ta gọi chúng là '-1', '0', '1'. Như vậy, việc chế tạo một máy tính dựa trên 'trit' thay vì 'bit' là một tuỳ chọn thực tế. Tại sao không có máy tính
Câu đố 245 s
27-trit?

* *

Nước có bộ nhớ không? Một người nào đó có thể mưu sinh nhờ vấn đề này. Các phân
Câu đố 246 e
tử trong nước có tốc độ trung bình 590 m/s ở nhiệt độ phòng. Trạng thái lỏng cùng với tốc độ cao này khiến cho việc tạo thành các kết tập bền vững không thể vượt quá kích thước của một nắm phân tử. Các thí nghiệm cố gắng tìm kiếm các hiệu ứng nhớ đều
Xem 240
thất bại, trừ nỗ lực của các kẻ lừa đảo. Nước không có ký ức.

* *

Các chất dẫn truyền thần kinh ảnh hưởng đến tâm trạng vẫn còn là chủ đề nghiên cứu. Những cuộc nghiên cứu như vậy đã chứng tỏ rằng một peptide đặc biệt được gọi là *hypocretin* hay *orexin* tạo ra sự hoạt bát, tăng cảm giác ngon miệng và chủ yếu là tâm trạng thoải mái. Việc chất này có thật là 'hormone hạnh phúc' như được nói hay không vẫn còn phải kiểm chứng lại.

* *

Năm 2015, lần đầu tiên, các hạch bạch huyết được khám phá trong não: có cả ngõ vào Xem 241 và ra của bạch huyết. Khám phá lạ thường của Antoine Louveau và cộng sự có thể làm thay đổi phương thức mà các nhà nghiên cứu giải quyết bệnh Alzheimer, rối loạn tự kỷ, chứng đa sơ cứng và nhiều bệnh thần kinh-miễn dịch khác.

* *

Năm 2015, 'các tế bào tốc độ' đã được khám phá trong não. Những tế bào này là một phần của hệ đạo hàng của não và khai hoả với một tần số tỷ lệ với tốc độ riêng của cơ Xem 242 quan này. Những tế bào này có cùng vai trò như tốc kế trong xe hơi. Hoàn tất việc tìm hiểu hệ đạo hàng của não là một thách thức hiện nay của Khoa thần kinh học.

* *

Một khía cạnh hấp dẫn của não là phương thức mà nó điều khiển sự vận động. Nhiều nhóm nghiên cứu đang tìm hiểu cách mà các chuyển động của tay chân và cơ thể đã được học, xây dựng, lưu trữ và điều khiển bên trong não như thế nào. Não điều khiển chuyển động bằng cách xây dựng các lệnh cho bắp thịt từ một tập hợp nhỏ các *chỉ lệnh chuyển động*.

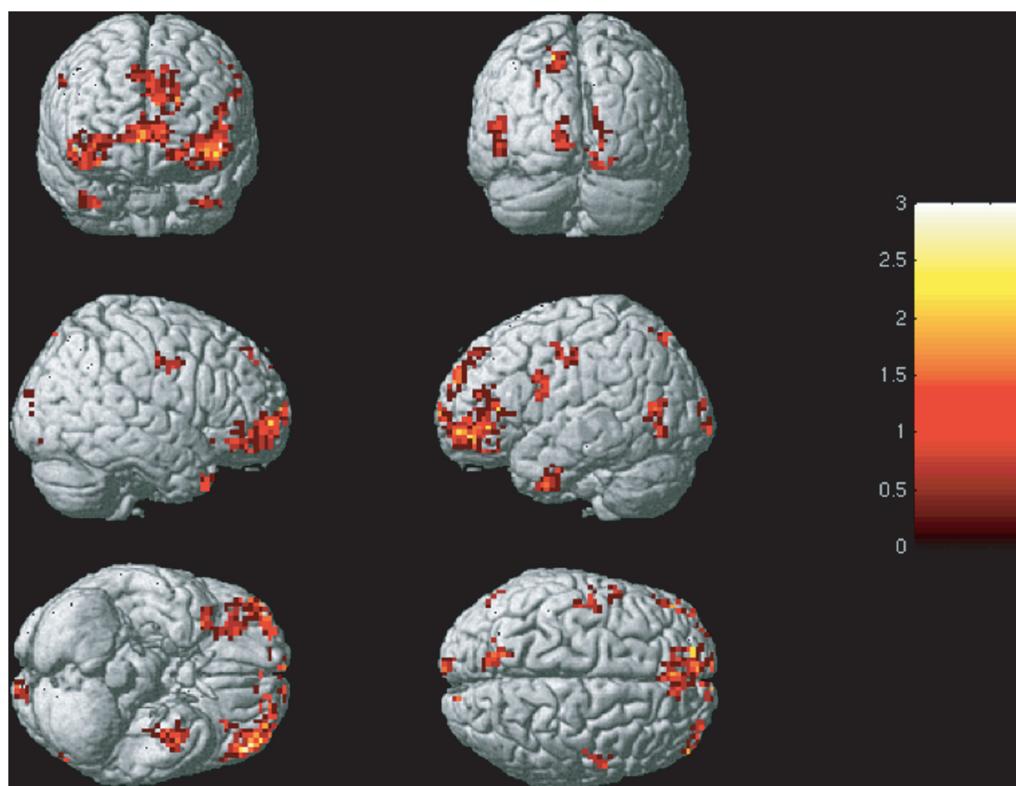
Các nhóm nghiên cứu khác đang tìm hiểu cách mà não định vị chuyển động của môi, lưỡi, hàm và thanh quản trong khi nói. Cũng trong trường hợp này hình như hoạt động nói được điều khiển bằng một chuỗi các chỉ lệnh chuyển động đã học; các chỉ lệnh này hình như tương tự hay ít nhất là có quan hệ gần gũi với các vần.

* *

Mục tiêu của việc đọc được ý nghĩ của một người vẫn chưa thể đạt tới. Nhưng người ta đã có thể đọc cảm xúc của một người bằng máy cộng hưởng từ. Một cái nhìn lướt qua về Quyển V, trang 162 hướng tiếp cận này được trình bày trong Hình 179. Bằng cách tính đúng các hoạt động Xem 243 thần kinh của các vùng trong não người ta có thể phân biệt sự giận dữ, căm ghét, đố kỵ, sợ hãi, hạnh phúc, ham muốn, kiêu hãnh, buồn bã và xấu hổ – mặc dù độ chính xác chỉ vào khoảng 85 %.

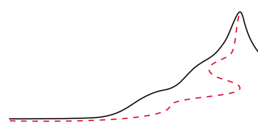
* *

Các nghiên cứu gần đây đã chứng tỏ rằng, cho tới nay thì cách tốt nhất để giữ cho não khoẻ mạnh là vận động thường xuyên. Vận động thường xuyên rất hữu hiệu hơn mọi loại thuốc trên đời trong việc chống lại chứng sơ cứng động mạch và bệnh Alzheimer.



HÌNH 179 Các ảnh quét của não bằng cộng hưởng từ chức năng chồng chập với ảnh của não cho phép ta xác định các vùng cảm xúc, nếu các vị trí đã hiện ra được tính đúng (© Karim S. Kassan).





Chương 8

Ngôn ngữ và khái niệm

> Hãy giành quyền suy nghĩ, vì ngay cả nghĩ sai vẫn tốt hơn không nghĩ gì cả.
>
> Hypatia of Alexandria

Ngôn ngữ có lẽ là món quà tuyệt vời nhất của thiên nhiên dành cho con người. Ta đã học nó từ những người chăm sóc chúng ta. Tuy vậy, nguồn gốc của ngôn ngữ vẫn còn bị che giấu trong quá khứ xa xưa của loài người. Ngôn ngữ được tạo ra và lưu truyền từ não người này sang não người khác. Vì ta đã nói đi nói lại rằng Vật lý bàn về chuyển động nên ta phải tìm hiểu ngôn ngữ trong cuộc phiêu lưu này. Vật lý là một ngôn ngữ chính xác được chuyên biệt hoá cho việc mô tả chuyển động. Trong cuộc hành trình ta sẽ khám phá ra rằng định nghĩa đặc biệt này của ngôn ngữ không bị hạn chế vì mọi vật trong thế giới này đều chuyển động. Như vậy Vật lý là một ngôn ngữ chính xác dành cho mọi vật. Và cuộc hành trình đi tìm sự chính xác đòi hỏi ta phải tìm hiểu ý nghĩa, công dụng và giới hạn của ngôn ngữ.

Ngôn ngữ là gì?

> Ein Satz kann nur sagen, *wie* ein Ding ist, nicht *was* es ist.**
>
> Ludwig Wittgenstein, *Tractatus*, 3.221

Sử dụng khả năng tạo ra âm thanh và đặt mực lên trang giấy, người ta đã gắn các *ký hiệu*,*** còn gọi là *từ* hay *thuật ngữ* trong ngữ cảnh này, với các phần mà chúng xác định nhờ sự giúp đỡ của tư duy. Sự phân loại như vậy được gọi là định nghĩa một *khái niệm* hay một *ý niệm* và nó được viết *nghiêng* trong sách này. *Một tập hợp các khái niệm tiêu chuẩn tạo thành một ngôn ngữ.* **** Nói cách khác, ta có:

Xem 244

** 'Một mệnh đề chỉ có thể nói một vật *như thế nào* chứ không thể nói nó là *cái gì*.'

*** Một ký hiệu là một loại *dấu hiệu*, tức là một thực thể được gắn kết, nhờ một số quy ước, với vật thể mà nó nói tới. Theo Charles Peirce (b. 1839 Cambridge, d. 1914 Milford) – xem trang www.peirce.org – một triết gia người Mỹ lập dị nhất, một ký hiệu khác với một *biểu tượng* (hay *hình ảnh*) và một *chỉ dấu* (cũng gắn liền với vật theo quy ước) vì nó không giống với vật như một biểu tượng và cũng không tiếp xúc với vật như một chỉ dấu.

**** Việc nhận biết rằng ngôn ngữ dựa trên một phần của các ý tưởng, sử dụng sự khác nhau giữa chúng để phân biệt chúng là trở lại với Ferdinand de Saussure (b. 1857 Geneva, d. 1913 Vufflens), được xem là người sáng lập ra ngôn ngữ học. Tác phẩm *Cours de linguistique générale*, Editions Payot, 1985, của ông đã là sách tham khảo trong lĩnh vực này trên nửa thế kỷ. Cũng nên nhớ rằng Saussure, khác với Peirce, thích thuật ngữ 'dấu hiệu' hơn 'ký hiệu' và định nghĩa của ông về thuật ngữ 'dấu hiệu' cũng bao gồm vật mà nó nói tới.

BẢNG 20 Các thông tin cơ bản về ngôn ngữ.

Phương diện	Giá trị
Âm vị của người	*c.* 70
Âm vị trong tiếng Anh	44
Âm vị trong tiếng Đức	40
Âm vị trong tiếng Ý	30
Từ trong tiếng Anh (hơn tất cả các ngôn ngữ khác, có thể trừ tiếng Đức)	*c.* 350 000
Số ngôn ngữ trên Trái đất trong năm 2000	*c.* 6000

▷ *Ngôn ngữ (của người)* là một phương thức tương tác bằng ký hiệu tiêu chuẩn giữa hai người.

Có những ngôn ngữ dựa trên biểu hiện của khuôn mặt, cử chỉ, lời nói, tiếng huýt sáo, chữ viết, v.v... Việc sử dụng ngôn ngữ *nói* trẻ hơn loài người rất nhiều; hình như nó chỉ xuất hiện cách nay 100 000 năm. Ngôn ngữ *viết* còn trẻ hơn nữa, cụ thể chỉ vào khoảng 6000 năm. Tập hợp các khái niệm được sử dụng trong ngôn ngữ, *ngữ vựng*, vẫn còn đang mở rộng. Đối với con người, việc tìm hiểu ngôn ngữ bắt đầu ngay sau khi sinh (có lẽ ngay trước). Việc chủ động sử dụng bắt đầu khoảng 1 tuổi, khả năng đọc có thể bắt đầu lúc 2 tuổi và ngữ vựng cá nhân vẫn tiếp tục gia tăng nếu tính hiếu kỳ vẫn còn.

Các nhà sinh vật của Thuyết tiến hoá thích nhấn mạnh đến điều cần thiết phải có một định nghĩa về ngôn ngữ:

▷ Chỉ có một hệ tương tác bằng ký hiệu cho phép truyền đạt những điều *không hiện diện* – không có ở đây và vào lúc này – mới tạo thành một *ngôn ngữ*.

Việc chỉ vào một vật hay một nơi xem như là một dấu hiệu đã được nhiều động vật hiểu và sử dụng. Nhưng khả năng sử dụng dấu hiệu để nói về quá khứ, về tương lai và những vị trí khác thì nó đòi hỏi phải biến đổi một tập hợp các ký hiệu thành ngôn ngữ. Người ta không rõ có loài động vật nào có khả năng này hay chưa; khỉ dã nhân hiển nhiên là một ứng cử viên trong trường hợp này.

Vật lý là một cách lười biếng dùng để tán về chuyển động - là đối tượng cần ngôn ngữ để làm một công cụ chính yếu. Trong các lĩnh vực về ngôn ngữ, từ văn chương tới thi ca, từ những lời nói đùa tới các mệnh lệnh trong quân đội, từ các phát biểu động viên, những giấc mơ, tình yêu và cảm xúc, Vật lý chỉ sử dụng một âm đoạn nhỏ và đặc biệt. Phần này được xác định bởi sự giới hạn vốn có khi nói về chuyển động. Vì chuyển động là một hiện tượng, tức là một tương tác với môi trường mà nhiều người trải nghiệm theo cùng một cách, sự lựa chọn này đặt ra một số giới hạn về nội dung – ngữ vựng – và hình thức – ngữ pháp – của những bàn luận như vậy.

Thí dụ như từ việc các thí nghiệm phải được nhiều người chia sẻ ta có điều kiện sau:

▷ Mệnh đề mô tả các thí nghiệm phải có thể dịch được sang mọi ngôn ngữ.

Nhưng khi nào thì người ta có thể dịch được một mệnh đề? Về câu hỏi này có 2 quan điểm cực đoan: quan điểm đầu tiên cho rằng *mọi* mệnh đề đều có thể dịch được vì từ tính chất của ngôn ngữ của người thì mỗi ngôn ngữ đều có thể diễn tả mọi mệnh đề khả hữu. Theo quan điểm này ta có thể nói:

▷ Chỉ có các hệ dấu hiệu cho phép phát biểu đầy đủ các thông điệp của con người mới tạo thành *ngôn ngữ của người*.

Định nghĩa này phân biệt ngôn ngữ nói của con người và ngôn ngữ dấu hiệu của động vật, như những dấu hiệu của khỉ dã nhân, chim hay ong mật và ngôn ngữ máy tính như Pascal hay C. Với ý nghĩa này, mọi mệnh đề đều có thể dịch được.

Ta sẽ gặp nhiều thử thách hơn khi bàn về quan điểm đối nghịch, cụ thể là ta chỉ có thể dịch chính xác các mệnh đề có sử dụng các thuật ngữ, các từ loại và các cấu trúc ngữ pháp được tìm thấy trong *mọi* ngôn ngữ. Các nhà ngôn ngữ học đã bỏ nhiều công sức để tinh luyện thành các *tiêu chuẩn phổ quát* về âm vị, ngữ pháp và ngữ nghĩa từ 6000 hay khoảng đó ngôn ngữ hiện đang tồn tại.*

Các thành phần của ngôn ngữ và hệ thống tổ chức của nó

“Jedes Wort ist ein Vorurteil.”
Friedrich Nietzsche**

Việc nghiên cứu kỹ về phương diện *âm vị* của ngôn ngữ đã chứng tỏ rằng mỗi ngôn ngữ của người đều có ít nhất 2 phụ âm và 2 nguyên âm và số âm vị trên thế giới có giới hạn. Tuy vậy, những nghiên cứu đó không cung cấp đủ tư liệu để bàn luận về việc dịch thuật.***

Các nghiên cứu về phương diện *ngữ pháp* (hay *cú pháp*) đã chứng tỏ rằng mọi ngôn ngữ đều sử dụng các phần tử nhỏ nhất, gọi là 'từ', để nhóm thành các câu. Chúng cũng có các đại danh từ dành cho ngôi thứ nhất và thứ hai, 'I' và 'you' và luôn luôn có danh từ và động từ. Mọi ngôn ngữ đều sử dụng *chủ ngữ* và *vị ngữ* hay như người ta thường nói, *chủ từ*, *động từ* và *túc từ*, mặc dù không luôn luôn đi theo thứ tự đó. Bạn có thể kiểm tra lại những ngôn ngữ mà bạn biết. Câu đố 247 e

* Một cơ sở dữ liệu chuyên nghiệp của nhà ngôn ngữ học Merritt Ruhlen với 5700 ngôn ngữ và các chi tiết của từng ngôn ngữ có thể tìm thấy ở trang ehl.santafe.edu/intro1.htm. Một danh sách dài nhưng không chuyên nghiệp với 6 900 ngôn ngữ (và 39 000 tên ngôn ngữ và phương ngữ) có thể tìm thấy trên website www.ethnologue.com. Hãy thận trọng vì nó đã bị một nhóm tôn giáo cực đoan sửa đổi nhằm gia tăng số ngôn ngữ lên thật nhiều.

Người ta ước tính có 15 000 ± 5 000 ngôn ngữ trong quá khứ.

Tuy vậy, trong thế giới ngày nay và chắc chắn là trong khoa học, người ta chỉ cần biết bản ngữ cộng thêm tiếng Anh là đủ. Vì tiếng Anh là một ngôn ngữ có số từ lớn nhất nên việc học nó là một thách thức lớn hơn việc học nhiều ngôn ngữ khác. Xem 245

** 'Mỗi từ là một định kiến.' Friedrich Nietzsche (b. 1844 Röcken, d. 1900 Weimar) là một triết gia nổi tiếng trên thế giới.

*** Các nghiên cứu về âm vị cũng tìm hiểu các chủ đề như việc quan sát thấy trong nhiều ngôn ngữ từ 'little' có chứa một âm 'i' (hay 'e' giọng cao): petit, piccolo, klein, tiny, pequeño, chiisai, bé tí; các ngoại lệ là: small, parvus. Các nhà nghiên cứu khác đã chứng minh rằng ngôn ngữ ở các miền ấm áp, có nhiều cây cối thì có nhiều nguyên âm và ít phụ âm.

BẢNG 21 Các căn tố ngữ nghĩa phổ quát, theo Anna Wierzbicka.

Tôi, anh, một người nào đó, một vật nào đó, người	[danh từ]
cái này, giống nhau, một, hai, tất cả, nhiều	[chỉ định từ và lượng từ]
biết, muốn, suy nghĩ, cảm thấy, nói	[vị ngữ nhận thức]
làm, xảy ra	[tác nhân, người bị tác động]
tốt, xấu	[tình thái đánh giá]
lớn, nhỏ	[từ mô tả]
rất	[từ tăng cường]
có thể, nếu	[tính tình thái, phi hiện thực]
vì	[nguyên nhân]
không	[sự phủ định]
khi nào, ở đâu, sau (trước), dưới (trên)	[thời gian và địa điểm]
loại, phần	[phân loại, phân cấp]
thích	[biểu thức rào đón/nguyên mẫu]

Việc tìm hiểu về phương diện *ngữ nghĩa* của ngôn ngữ, một danh sách dài của các tiêu chuẩn phổ quát từ vựng học, tức là các từ xuất hiện trong mọi ngôn ngữ, như 'mẹ' hay 'Mặt trời', cũng đã có một cấu trúc. Nhà ngôn ngữ học Anna Wierzbicka đã tìm kiếm các khối xây dựng cơ bản để kiến tạo thành mọi khái niệm. Bà đã tìm định nghĩa của mỗi khái niệm từ các khái niệm đơn giản hơn và tiếp tục làm như vậy cho đến khi chạm vào một mức cơ bản không thể rút gọn hơn nữa. Tập hợp các khái niệm còn lại này là các căn tố ngữ nghĩa. Bằng cách lặp lại công việc này trong nhiều ngôn ngữ, Wierzbicka đã thấy rằng trong mọi trường hợp danh sách này đều như nhau. Như vậy bà đã khám phá ra *Các căn tố ngữ nghĩa phổ quát*. Năm 1992, danh sách chứa các thuật ngữ này được cho trong Bảng 21.

Theo công trình nghiên cứu suốt đời của Anna Wierzbicka và trường phái của bà, mọi khái niệm này đều có trong mọi ngôn ngữ trên thế giới đã được nghiên cứu cho tới nay.* Họ đã xác định ý nghĩa của mỗi căn tố một cách chi tiết, kiểm tra sự nhất quán và loại bỏ các cách tiếp cận khác. Họ đã kiểm tra danh sách này trong những ngôn ngữ thuộc mọi nhóm ngôn ngữ, trên mọi lục địa, cho thấy kết quả này đúng ở mọi nơi. Trong Xem 246 mọi ngôn ngữ tất cả các khái niệm khác đều có thể định nghĩa nhờ các căn tố ngữ nghĩa này.

Phát biểu một cách đơn giản, học nói đồng nghĩa với việc học các thuật ngữ cơ bản này, cách kết hợp và tên các phức hợp của chúng. Định nghĩa ngôn ngữ đã cho ở trên, cụ thể là phương tiện giao tiếp cho phép ta diễn đạt mọi điều muốn nói, cũng như về nơi chốn và thời gian, có thể cải tiến như sau:

- ▷ Chỉ có tập hợp các khái niệm bao gồm các căn tố ngữ nghĩa phổ quát mới tạo thành một *ngôn ngữ của người*.

* Ta dễ dàng thấy là công trình này làm nhiều người bực bội. Một danh sách để bảo vệ cho ý kiến là ta chỉ cần nhớ khoảng 30 khái niệm cơ bản sẽ khiến cho các đầu óc hẹp hòi chống đối. Ngoài ra, một danh sách cho rằng 'đúng', 'sự sáng tạo', 'đời sống', 'mẹ' và 'chúa trời' là các phức hợp sẽ gây ra các phản ứng dữ dội, mặc dù điều này không sai. Danh sách cũng thiếu 'ánh sáng' và 'chuyển động'. Thật vậy, một số thuật ngữ trong số này đã được thêm vào phiên bản sau đó của danh sách.



HÌNH 180 Một mục tiêu của Vật lý là mô tả toàn bộ thiên nhiên như một 'xì trum': chỉ sử dụng một khái niệm đơn giản. (© Peyo 2016, licensed through I.M.P.S., Brussels, www.smurf.com)

Đối với các nhà vật lý – người muốn nói càng ít càng tốt – danh sách các căn tố ngữ nghĩa này có 3 vấn đề. Đầu tiên, cách tiếp cận này giống với mục tiêu riêng của Vật lý: ý tưởng về các căn tố cho ta một sự khái lược có cấu trúc của *mọi vật mà ta nói tới*, giống như các nguyên tố liên kết thành vật thể mà ta có thể chạm vào. Thứ hai, danh sách các căn tố này có thể được chia thành *2 nhóm*: một nhóm chứa mọi thuật ngữ mô tả chuyển động (làm, xảy ra, khi, nơi, cảm giác, nhỏ, v.v... và có lẽ phải thêm vào một thuật ngữ về ánh sáng hay màu sắc) và một nhóm chứa mọi thuật ngữ cần thiết để nói về các tập hợp cùng với các hệ thức trừu tượng (này, tất cả, loại, không, nếu, v.v...). Ngay cả đối với Ngôn ngữ học, các vấn đề về chuyển động và các khái niệm luận lý cũng là các thực thể cơ bản của kinh nghiệm và tư duy của con người. Tóm lại,

Câu đố 248 e

▷ Các căn tố ngữ nghĩa chứa các yếu tố cơ bản của Vật lý và Toán học.

Như vậy mọi người đều là Vật lý gia và Toán gia.

Vấn đề thứ 3 của danh sách Wierzbicka là đối với các nhà vật lý thì nó *quá dài*. Việc chia danh sách này thành 2 nhóm làm nảy sinh ý nghĩ tìm một danh sách ngắn hơn; ta chỉ phải yêu cầu các vật lý gia và toán gia tóm lược một cách chính xác các lĩnh vực tương ứng của họ. Để hiểu rõ mục tiêu này, hãy thử định nghĩa 'nếu', 'không', 'ngược lại' có nghĩa là gì – và khám phá ra cách riêng của bạn để rút gọn danh sách này.

Câu đố 249 d

Việc rút gọn danh sách căn tố cũng là một trong các mục tiêu của chúng ta trong cuộc phiêu lưu này. Thật vậy, ta sẽ tìm hiểu các nhóm căn tố toán học trong chương này. Nhóm vật lý sẽ chiếm phần còn lại của cuộc thám hiểm. Tuy vậy, một danh sách căn tố ngắn hơn sẽ không đủ:

▷ Mục tiêu mà Vật lý (và chúng ta) phải đạt tới là sự mô tả thiên nhiên chỉ có *1* khái niệm cơ bản.

Các nhà vật lý muốn nói như các *'xì trum'*: chỉ sử dụng một thuật ngữ đơn giản. Dù vậy, việc đạt tới mục tiêu này không đơn giản. Một mặt, ta cần kiểm tra xem tập hợp các khái niệm của vật lý cổ điển mà chúng ta đã khám phá cho tới nay đã *đầy đủ* chưa. Thí dụ như các khái niệm của vật lý cổ điển có thể mô tả *mọi* quan sát – một cách chính xác hay không? Quyển nói về Vật lý lượng tử dành cho câu hỏi này. Mặt khác, ta cần *rút gọn* danh sách này. Công việc này không phải là điều dễ làm; ta đã khám phá ra rằng Vật lý đặt nền tảng trên một định nghĩa lẩn quẩn: trong vật lý Galilei, không gian và thời gian được định nghĩa bằng cách dùng vật chất và vật chất được định nghĩa bằng cách dùng không gian và thời gian. Ta sẽ cần khá nhiều công sức để vượt qua trở ngại này. Phần sau cùng của sách này sẽ kể một câu chuyện chính xác về cách rút gọn danh sách này. Sau các cuộc phiêu lưu khác nhau ta sẽ cần khám phá một khái niệm cơ bản mà tất cả các khái niệm khác đều dựa trên nó.

Quyển IV, trang 15
Quyển I, trang 437
Quyển VI, trang 148

Ta có thể tóm lược kết quả về ngôn ngữ học đã đề cập trên đây như sau. Nếu ta xây dựng một mệnh đề gồm có danh từ, động từ và một vài khái niệm khác được xây dựng từ các căn tố ngữ nghĩa, ta phải bảo đảm rằng nó có thể được dịch ra các ngôn ngữ khác. Điều này có thể giải thích cho việc các sách giáo khoa Vật lý thường *rất chán*: các tác giả thường ngán ngại đến nỗi không dám bắt đầu từ lược đồ kể chuyện cơ bản này. Mặt khác, các công trình nghiên cứu đã chứng tỏ rằng các mệnh đề đơn giản và dễ hiểu như vậy sẽ không chặt chẽ. Cường điệu lên một chút: *Chỉ với một vài danh từ và động từ, ta có thể nói* mọi điều *có thể nói.*

> Mỗi từ đã từng là một bài thơ.
> Ralph Waldo Emerson*

Toán học có phải là một ngôn ngữ hay không?

> Die Sätze der Mathematik sind Gleichungen, also Scheinsätze. Der Satz der Mathematik drückt keinen Gedanken aus.**
> Ludwig Wittgenstein, *Tractatus*, 6.2, 6.21

Có một nhóm người có quan điểm nghiêm ngặt về sự biên dịch và độ chính xác lên tới mức cực đoan. Họ xây dựng mọi khái niệm từ một tập hợp các căn tố nhỏ hơn, cụ thể là chỉ có 2 phần tử: 'tập hợp' và 'quan hệ' và tìm hiểu các tổ hợp khác nhau của 2 khái niệm này bằng cách nghiên cứu các phân loại khác nhau của chúng. Dần dần nhóm cực đoan này, thường được gọi là các *nhà toán học*, đi đến chỗ định nghĩa được các khái niệm hoàn toàn chính xác như số, điểm, đường cong, phương trình, nhóm đối xứng và nhiều hơn nữa. Việc xây dựng các khái niệm này được tóm lược một phần ngay sau đây và phần còn lại trong Quyển kế tiếp của bộ sách này.

Quyển IV, trang 224

Toán học là *ngữ vựng* giúp ta diễn đạt chính xác. Toán học có thể được xem như là sự khám phá *mọi* khái niệm khả hữu được xây dựng từ 2 viên gạch cơ bản 'tập hợp' và 'quan hệ' (hay các cặp tương đương đương khác).

▷ *Toán học* là khoa học của các điều thiết yếu trình bày dưới dạng ký hiệu.

* Ralph Waldo Emerson (b. 1803 Boston, d. 1882 Concord) nhà văn và triết gia nổi tiếng.
** 'Các mệnh đề toán học là các phương trình và do đó là các giả mệnh đề. Một mệnh đề toán học không diễn đạt một tư tưởng.'

Nói cách khác, Toán học là sự khám phá mọi kiểu phân loại khả hữu. Hay ít khôi hài hơn một chút: Toán học là sự khám phá các công thức hằng đúng. Những điều này giải thích cho sự hữu ích của Toán học trong trường hợp khi ta cần phân loại các quan sát phức tạp nhưng đòi hỏi chính xác như trong Vật lý.

Tuy vậy, Toán học không thể diễn đạt mọi điều mà con người muốn truyền đạt, như mong ước, quan niệm hay cảm xúc. Bạn chỉ cần thử diễn đạt sự vui nhộn của việc bơi lội bằng Toán học thì rõ. Thật vậy, Toán học là khoa học của *các điều thiết yếu trình bày dưới dạng ký hiệu*; như vậy Toán học không phải là một ngôn ngữ và cũng không chứa đựng một ngôn ngữ nào. Các khái niệm Toán học đặt nền tảng trên các tập hợp và quan hệ *trừu tượng*, không thuộc về thiên nhiên. Dù đẹp nhưng Toán học không cho ta nói về thiên nhiên hay các hiện tượng về chuyển động. Toán học không kể *những điều* nói về thiên nhiên; nó chỉ cho chúng ta *cách* nói về thiên nhiên.

Tóm lại, sự chính xác của Toán học, đặc biệt là cấu trúc theo tiên đề của nó, có một hệ quả không mong muốn: không có một khái niệm toán học nào nói về thiên nhiên hay sự quan sát.*

Quyển VI, trang 106

▷ Toán học không phải là một ngôn ngữ.

Do đó, việc nghiên cứu chuyển động cần các khái niệm khác hữu hiệu hơn.

Trong bài giảng nổi tiếng của mình năm 1900 ở Paris, nhà toán học David Hilbert** đã đưa ra một danh sách 23 bài toán lớn của Toán học. Bài toán thứ 6 của Hilbert là tìm một cách xử lý toán học cho các tiên đề Vật lý. Cho tới bây giờ cuộc hành trình của chúng ta đã cho thấy Vật lý đã khởi đầu bằng một *định nghĩa lẩn quẩn* và chưa được loại bỏ sau 2500 năm suy xét: không-thời gian được định nghĩa bằng vật thể và ngược lại. Vì dựa trên định nghĩa lòng vòng này nên Vật lý *không* được mô hình theo Toán học, mặc dù nhiều nhà vật lý và toán gia kể cả Hilbert muốn làm như vậy. Các nhà vật lý phải sống với các vấn đề luận lý và phải đi trên các nền tảng không vững chắc để đạt được sự tiến bộ. Đúng ra họ đã làm như vậy suốt 2500 năm.

Quyển I, trang 437

Xem 261

Tóm lại, Toán học không phải là một ngôn ngữ nhưng Vật lý là một ngôn ngữ. Toán học là một hệ tiên đề còn Vật lý thì không. Nếu Vật lý là một hệ tiên đề nó sẽ không

* Trong phạm vi mà ta có thể nói rằng Toán học dựa trên các khái niệm 'tập hợp' và 'quan hệ', tức là dựa trên kinh nghiệm, thì ta có thể nói rằng Toán học chỉ khám phá một phần của thực tại và các khái niệm của nó *dẫn xuất* từ kinh nghiệm. Quan điểm này và các quan điểm tương tự về Toán học được gọi là *Học thuyết Plato*. Nói cụ thể hơn, Học thuyết Plato là quan điểm cho rằng các khái niệm toán học hiện hữu *độc lập* với con người và chúng được các nhà toán học khám phá chứ không được sáng tạo.

Đúng ra vì Toán học sử dụng não, là một hệ vật lý nên *Toán học thực sự là Vật lý ứng dụng*. Tuy vậy, ta sẽ khám phá ra rằng khái niệm 'tập hợp' *không* áp dụng cho thiên nhiên; điều này sẽ làm thay đổi hoàn toàn cuộc bàn luận này.

** David Hilbert (b. 1862 Königsberg, d. 1943 Göttingen) là Giáo sư toán ở Göttingen và là toán gia vĩ đại nhất trong thời đó. Ông là nhân vật trung tâm của nhiều lĩnh vực toán học và cũng đóng vai trò quan trọng trong việc khai sinh cả hai Thuyết tương đối và Thuyết lượng tử. Sách của ông vẫn còn được xuất bản. Cương lĩnh nổi tiếng của ông là: 'Wir müssen wissen, wir werden wissen.' (ta phải biết, ta sẽ biết.) Bài giảng nổi tiếng ở Paris đã được in trong *Die Hilbertschen Probleme*, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig, 1983. Bài giảng này đã khích động toàn thể toán giới. (Mặc dù đã có nhiều nỗ lực cùng với các hứa hẹn vinh quang, *chưa có ai* trên thế giới có một bài tổng quan về Toán học tương tự cho phép họ lập lại kỳ công vào năm 2000). Trong mười năm cuối đời ông đã chịu nhiều sự ngược đãi của chế độ đức quốc xã; sự khủng bố đã loại Göttingen ra khỏi danh sách các đại học khoa học quan trọng và không phục hồi cho nó cho đến tận ngày nay.

chứa các định nghĩa lòng vòng; trong trường hợp đó, nó không còn là một ngôn ngữ và không còn mô tả thiên nhiên.

▷ Vật lý là một ngôn ngữ vì nó không phải là một hệ tiên đề.

Ta sẽ trở lại chủ đề này trong phần cuối cùng của cuộc thám hiểm. Ta cũng nên nhớ rằng Quyển VI, trang 110 các khái niệm cần để mô tả chính xác chuyển động phải là các khái niệm vật lý vì các khái niệm toán học thì không đủ.

> Insofern sich die Sätze der Mathematik auf die Wirklichkeit beziehen, sind sie nicht sicher, und sofern sie sicher sind, beziehen sie sich nicht auf die Wirklichkeit.*
>
> Albert Einstein

Khái niệm là gì?

> Khái niệm chỉ là các kết quả, được ngôn ngữ diễn tả thường xuyên, của một quá trình so sánh trước đó.
>
> William Hamilton

Một khái niệm hữu ích phải có những tính chất gì? Thí dụ 'đam mê' là gì và 'tăm bông' là gì? Điều hiển nhiên là một khái niệm hữu ích sẽ dẫn tới một danh sách các thành phần, các mặt của nó và các quan hệ nội tại của chúng cũng như quan hệ của chúng với thế giới bên ngoài. Do đó các tư tưởng gia trong mọi lĩnh vực, từ Toán học tới Vật lý, từ Triết học tới chính trị, đều đồng ý với định nghĩa sau:

▷ Một *khái niệm* có
1. *nội dung* tường minh và cố định,
2. *các giới hạn* tường minh và cố định,
3. *lĩnh vực áp dụng* tường minh và cố định.

Việc không có khả năng phát biểu các tính chất này hay giữ cho chúng cố định thường là cách dễ nhất để phân biệt các *kẻ lập dị* và các tư tưởng gia đáng tin cậy. Những thuật ngữ không rõ ràng, không thể dùng làm khái niệm, thường xuất hiện trong thần thoại, thí dụ như 'rồng' hay 'nhân sư', hay trong các ý thức hệ là 'công nhân', 'linh hồn' hay 'thế giới quan'. Ngay cả Vật lý cũng không được miễn nhiễm. Thí dụ như sau này ta sẽ thấy cả 'vũ trụ' lẫn 'sáng tạo' đều không phải là các khái niệm. Bạn có thể chứng minh cho Câu đố 250 s các trường hợp này không?

Nhưng 3 tính chất định nghĩa của khái niệm có cái thú vị riêng của chúng. Nội dung tường minh có nghĩa là các khái niệm chỉ được xây dựng trên một yếu tố khác. Đặc biệt, các khái niệm cơ bản nhất không có các thành phần và không có mối liên hệ với bên Câu đố 251 s ngoài mà chỉ có các quan hệ bên trong. Bạn có thể nghĩ ra một thí dụ không?

Các điều kiện giới hạn và nội dung tường minh cũng hàm ý mọi khái niệm mô tả thiên nhiên đều là các *tập hợp* hay *quan hệ* hay cả hai – vì tập hợp và quan hệ thoả các

* 'Trong chừng mực mà các mệnh đề toán học mô tả thực tại thì chúng không chắc chắn và trong chừng mực mà chúng chắc chắn thì chúng không mô tả thực tại.'

điều kiện của khái niệm.* Vì Toán học dựa trên các khái niệm 'tập hợp' và 'quan hệ', ta có thể trực tiếp suy ra là Toán học có thể cung cấp *khuôn dạng* cho mọi khái niệm, đặc biệt khi ta cần độ chính xác cao như trong việc nghiên cứu chuyển động. Dĩ nhiên là chính công việc nghiên cứu thiên nhiên phải cung cấp *nội dung*; chỉ khi đó thì khái niệm mới có ích.

Vật lý là sự mô tả chính xác về chuyển động. Trong Vật lý, việc tìm kiếm các khái niệm đủ chính xác có thể xem như một chủ đề đơn giản tạo nên một lịch sử dài cho môn học. Các khái niệm mới được đưa ra, tìm hiểu và kiểm chứng một cách đều đặn. Sau cùng, các khái niệm được vứt bỏ hay thông qua giống như trẻ em bỏ hay dùng một món đồ chơi mới. Trẻ em làm điều này một cách vô thức còn khoa học gia thì có ý thức bằng cách sử dụng ngôn ngữ.** Vì lý do này mọi khái niệm Vật lý cũng như mọi khái niệm đều có tính dễ hiểu phổ quát.

Ta cũng nên chú ý rằng khái niệm '*khái niệm*' không thể định nghĩa độc lập với kinh nghiệm; một khái niệm là một điều gì đó giúp ta tác động và phản ứng với thế giới mà ta đang sống. Hơn nữa, khái niệm không ở trong một thế giới tách rời với thế giới vật lý: mỗi khái niệm đều cần bộ nhớ của những người sử dụng nó vì người sử dụng phải nhớ cách thành lập khái niệm; do đó mỗi khái niệm đều cần một sự trợ giúp về mặt vật chất dành cho việc sử dụng và các ứng dụng của nó. Như vậy tư duy và khoa học đặt nền tảng cơ bản trên kinh nghiệm.

Tóm lại, mọi khái niệm đều dựa trên ý tưởng là thiên nhiên được cấu tạo từ các phần có liên hệ với nhau. Ý tưởng này khiến cho việc bổ sung các cặp như 'danh từ–động từ' trong ngôn ngữ học, 'tập hợp–quan hệ' hay 'định nghĩa–định lý' trong Toán học và 'phương diện–kiểu thức' của thiên nhiên trong Vật lý. Các cặp khái niệm này thường xuyên hướng dẫn tư duy của con người, từ bé cho đến lớn như Tâm lý học phát triển đã kiểm chứng được. Bây giờ ta sẽ tìm hiểu một số khái niệm đặc biệt quan trọng trong cuộc du hành của chúng ta.

Tập hợp là gì? Quan hệ là gì?

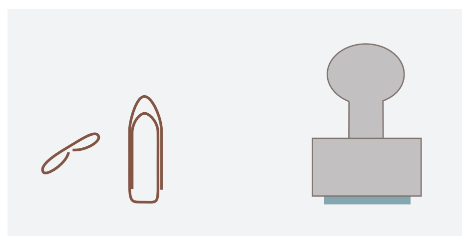
> “Alles, was wir sehen, könnte auch anders sein. Alles, was wir überhaupt beschreiben können, könnte auch anders sein. Es gibt keine Ordnung der Dinge a priori.***”
>
> Ludwig Wittgenstein, *Tractatus*, 5.634

Việc định nghĩa tập hợp và quan hệ là 2 hành động cơ bản của tư duy. Ta có thể thấy rõ điều này nhất trong các sách toán; một quyển sách như vậy thường chia thành các đoạn,

* Ta thấy rằng mỗi khái niệm vật lý là một thí dụ của *phạm trù* toán học, tức là một tổ hợp các đối tượng và các ánh xạ/quan hệ. Để có thêm chi tiết với một định nghĩa thuật ngữ chính xác, hãy xem Trang 289.

** Các khái niệm được hình thành một cách vô thức khi ta còn trẻ nên ta khó định nghĩa chính xác bằng ngôn ngữ. Một số người không thể định nghĩa chúng, nên triết gia nổi tiếng Immanuel Kant (b. 1724 Königsberg, d. 1804 Königsberg), thường gọi chúng là các khái niệm 'tiên nghiệm' (như 'không gian' và 'thời gian') để phân biệt chúng với các khái niệm 'hậu nghiệm' được định nghĩa rõ ràng hơn. Ngày nay, sự phân biệt này được chứng minh là vô căn cứ cả trong việc nghiên cứu tâm lý trẻ em (xem chú thích ở Trang 256) lẫn trong Vật lý, vì vậy các hạn định từ này không được sử dụng trong cuộc du hành của chúng ta.

*** 'Mọi vật ta thấy đều có thể khác đi. Mọi vật chúng ta mô tả cũng có thể khác đi. Không có thứ tự tiên nghiệm dành cho các vật.'



HÌNH 181 Các thiết bị dành cho việc định nghĩa tập hợp (hình bên trái) và quan hệ (hình bên phải).

một loại có tựa là 'định nghĩa' một loại khác có tựa là 'định lý', 'bổ đề' và 'hệ luận'. Loại đầu tiên đưa ra một số tập hợp và loại thứ 2 phát biểu các quan hệ tức là các mối liên kết giữa các tập hợp hay các phần tử của chúng. *Toán học* là sự tìm hiểu các khái niệm ký hiệu và các mối liên hệ của chúng. Như ta đã nói ở trên đây, Toán học là khoa học của các điều thiết yếu trình bày dưới dạng ký hiệu.

Tập hợp và quan hệ là các công cụ phân loại; đó cũng là lý do chúng cũng là công cụ của công chức. (Hãy xem Hình 181.) Tầng lớp này được đặc trưng bởi việc sử dụng nhiều kẹp giấy, hồ sơ, ngăn kéo kim loại, kho lưu trữ – là các loại tập hợp khác nhau – và các con số, như số tham chiếu, số khách hàng, số thông hành, số tài khoản, số của các điều luật – là các loại quan hệ khác nhau giữa các đề mục tức là giữa các phần tử của các tập hợp.

Tóm lại, Toán học, ở mức độ tệ nhất, là hệ thống quan liêu của Vật lý. Toán học, ở mức độ tốt nhất, dẫn đường cho ta tới những tri thức mới.

Cả khái niệm tập hợp lẫn quan hệ đều diễn đạt, bằng những cách khác nhau, một sự kiện là thiên nhiên có thể *được mô tả*, tức là được *phân loại* thành nhiều phần của một toàn thể. Công việc nhóm các đặc điểm của kinh nghiệm lại với nhau, tức là phân loại chúng, được diễn đạt theo ngôn ngữ thông thường, là định nghĩa một tập hợp. Nói cách khác *tập hợp* là một nhóm *các phần tử* của tư duy. Mỗi tập hợp đều phân biệt các phần tử với nhau cũng như phân biệt giữa phần tử và chính tập hợp. Định nghĩa 'tập hợp' này được gọi là định nghĩa *ngây thơ*. Đối với Vật lý, định nghĩa này là đủ nhưng bạn sẽ thấy là nhiều người không chấp nhận nó. Đúng ra các toán gia đã chỉnh sửa định nghĩa 'tập hợp' nhiều lần vì định nghĩa ngây thơ không thích hợp cho các tập hợp vô hạn. Một câu chuyện nổi tiếng là câu chuyện nói về các tập hợp không chứa chính nó. Dĩ nhiên là có 2 loại tập hợp: hoặc chứa hoặc không chứa chính nó. Nếu ta lấy tập hợp của tất cả tập
Câu đố 252 s hợp *không* chứa chính nó thì nó thuộc loại nào?

Để tránh gặp khó khăn với khái niệm 'tập hợp', Toán học cần một định nghĩa chính xác. Định nghĩa đầu tiên là của các toán gia Ernst Zermelo (b. 1871 Berlin, d. 1951 Freiburg i.B.) và Adolf/Abraham Fraenkel (b. 1891 München, d. 1965 Jerusalem). Sau đó, *tiên đề chọn* được thêm vào để ta có thể xử lý một lớp các tập hợp vô hạn lớn hơn. Kết quả của các nỗ lực này là *định nghĩa tập hợp ZFC* được cho trong Bảng 22.* Từ

* Một tổng quan về thuyết tập hợp theo tiên đề được trình bày trong Paul J. Cohen & Reuben Hersch, *Non-Cantorian set theory*, Scientific American 217, pp. 104–116, 1967. Đó là thời kỳ mà Scientific American đang là một tạp chí có chất lượng.

Để có bước đầu tìm hiểu thuận lợi về tiên đề chọn hãy ghé thăm website www.math.vanderbilt.edu/~schectex/ccc/choice.html.

Xem 247 Các loại thực thể khác, tổng quát hơn các tập hợp tiêu chuẩn, có những tính chất khác, cũng có thể định nghĩa và cũng là chủ đề của các nghiên cứu toán học (tương đối ít quan trọng). Để có một thí dụ hãy xem

BẢNG 22 Các tính chất định nghĩa của một tập hợp – các tiên đề ZFC.

Các tiên đề của lý thuyết tập hợp Zermelo–Fraenkel–C
– Hai tập hợp bằng nhau nếu và chỉ nếu chúng có các phần tử như nhau. (Tiên đề về sự mở rộng)
– Tập hợp trống là một tập hợp. (Tiên đề về tập hợp null)
– Nếu x và y là các tập hợp, thì các cặp không thứ tự $\{x, y\}$ là một tập hợp. (Tiên đề về các cặp không thứ tự)
– Nếu x là một tập hợp của các tập hợp, phần hội của các phần tử của nó là một tập hợp. (Tiên đề về tập hợp tổng)
– Thực thể $\{\varnothing, \{\varnothing\}, \{\{\varnothing\}\}, \{\{\{\varnothing\}\}\}, ...\}$ là một tập hợp [a] – nói cách khác, các tập hợp vô hạn, như các số nguyên tự nhiên là các tập hợp. (Tiên đề về sự vô hạn)
– Một thực thể được xác định bởi mọi phần tử có tính chất đã cho là một tập hợp, miễn là tính chất này có tính hợp lý; một số tính chất chuyên môn quan trọng cần có để xác định 'tính hợp lý'. (Tiên đề về sự phân tách)
– Nếu miền xác định của một hàm là một tập hợp thì miền giá trị của nó cũng vậy. (Tiên đề về sự thay thế)
– Thực thể y của tất cả các tập hợp con của x cũng là một tập hợp, được gọi là tập hợp luỹ thừa. (Tiên đề về tập hợp luỹ thừa)
– Một tập hợp không phải là phần tử của chính nó – cộng với một số tính chất chuyên môn. (Tiên đề về tính chính quy)
– Tích của một họ các tập hợp không trống là một tập hợp không trống. Nói cách khác, việc lấy các phần tử từ một danh sách các tập hợp cho phép ta tạo ra một tập hợp mới – kèm theo các tính chất chuyên môn. (Tiên đề chọn, C)

a. Mệnh đề tổng quát hơn (mặc dù tương đương với cách trên) là: Thực thể $\{\varnothing, \{\varnothing\}, \{\varnothing, \{\varnothing\}\}, \{\varnothing, \{\varnothing\}, \{\varnothing, \{\varnothing\}\}\}, ...\}$ là một tập hợp.

định nghĩa cơ bản này ta có thể xây dựng mọi khái niệm toán học được sử dụng trong Vật lý. Theo quan điểm thực hành đó, ta chỉ cần nhớ rằng: đối với Vật lý, định nghĩa ngây thơ của tập hợp tương đương với định nghĩa ZFC chính xác và ngay cả với định nghĩa ZF đơn giản hơn. Sự rắc rối chỉ xuất hiện trong vài loại tập hợp vô hạn đặc biệt nhưng chúng không được sử dụng trong Vật lý. Tóm lại, từ định nghĩa cơ bản, ngây thơ ta có thể xây dựng mọi khái niệm sử dụng trong vật lý.

Xem 248
Định nghĩa ngây thơ cũng đem lại nhiều điều thú vị. Để làm vừa lòng 2 người chia 1 cái bánh, ta theo quy tắc sau: Tôi cắt, anh chọn. Phương pháp này có 2 tính chất: nó *công bằng*, vì mọi người nghĩ rằng họ có phần họ muốn và nó *làm mọi người hài lòng*, vì ai cũng nghĩ là ít nhất mình cũng có nhiều hơn người kia. Nếu có 3 người thì ta cần quy tắc nào? Và nếu có 4 người thì sao?
Câu đố 254 d

Ngoài việc xác định các tập hợp, trẻ em và não bộ còn tạo ra các liên kết giữa các mặt khác nhau của kinh nghiệm. Thí dụ như khi nghe tiếng nói thì ta nghĩ đến sự hiện diện của con người. Trong ngôn ngữ thông thường, liên kết loại này được gọi là *quan hệ*. Các mối quan hệ này liên kết và phân biệt các phần tử theo một kiểu khác hơn các tập hợp:

Trang 288
Câu đố 253 s
phần bản số sau đây. Những thực thể tổng quát như vậy được gọi là các lớp khi chúng chứa ít nhất là 1 tập hợp. Bạn có thể cho một thí dụ không? Trong phần sau cùng của cuộc hành trình lên đỉnh ta sẽ gặp các khái niệm vật lý không thể mô tả bằng tập hợp hay lớp cũng như không chứa một tập hợp nào. Đó là chỗ có nhiều điều thú vị xuất hiện.

cả 2 tạo thành một cặp bổ sung cho nhau. Việc xác định một tập hợp là thống nhất nhiều đối tượng đồng thời chia chúng thành 2 loại: phần tử thuộc tập hợp và không; việc xác định một quan hệ (2 ngôi) là kết hợp các phần tử thành từng cặp đồng thời chia chúng thành nhiều cặp.

Tập hợp và quan hệ là các khái niệm có liên quan mật thiết với nhau. Thật vậy, người ta có thể xác định các quan hệ (toán học) nhờ tập hợp. Một *quan hệ (2 ngôi)* giữa 2 tập hợp X và Y là một tập hợp con của tập hợp tích, trong đó *tập hợp tích* hay *tích Descartes/Cartesian* $X \times Y$ là tập hợp của mọi cặp thứ tự (x, y) với $x \in X$ và $y \in Y$. Một *cặp thứ tự* (x, y) có thể xác định một cách dễ dàng nhờ tập hợp. Bạn có thể tìm ra cách không? Thí dụ như trong trường hợp quan hệ 'là bạn đời của', tập hợp X là tập hợp mọi phụ nữ và Y là tập hợp mọi nam giới; quan hệ này được cho bằng một danh sách mọi cặp thứ tự thích hợp, thường nhỏ hơn tập hợp tích, tức là tập hợp mọi tổ hợp nữ-nam khả hữu.

Câu đố 255 s

Ta cũng nên nhớ rằng định nghĩa của quan hệ mà ta vừa để cập không thực sự đầy đủ vì mỗi sự xây dựng nên khái niệm 'tập hợp' đã chứa các quan hệ nào đó như quan hệ 'là phần tử của'. Hình như ta cũng không thể rút gọn một trong 2 khái niệm 'tập hợp' hay 'quan hệ' thành một khái niệm khác. Tình trạng này được phản ánh trong các tập hợp và quan hệ trong Vật lý như không gian (tập hợp các điểm) và khoảng cách, là các khái niệm hình như cũng không thể hoàn toàn tách rời nhau. Nói cách khác, mặc dù Toán học không thuộc về thiên nhiên nhưng 2 khái niệm tập hợp và quan hệ được lấy từ thiên nhiên. Ngoài ra, 2 khái niệm này, giống như các khái niệm không-thời gian và hạt, định nghĩa lẫn nhau.

Vô hạn – và các tính chất của nó

Các toán gia chẳng bao lâu đã khám phá ra rằng khái niệm 'tập hợp' chỉ có ích khi người ta cũng có thể gọi các tập hợp như {0, 1, 2, 3...}, tức là các số 0 và mọi số đi sau nó, là một 'tập hợp'. Để đạt được điều này, có một tính chất trong danh sách Zermelo–Fraenkel dùng để định nghĩa thuật ngữ 'tập hợp' – được cho trong Bảng 22 – đã xác định rõ rằng tập hợp vô hạn này có thể gọi là một tập hợp (Đúng ra tiên đề thay thế cũng phát biểu rằng tập hợp có thể vô hạn). Như vậy vô hạn được đưa vào Toán học và được thêm vào các công cụ tư duy của chúng ta ngay từ đầu, trong định nghĩa 'tập hợp'. Khi mô tả thiên nhiên, dù sử dụng Toán học hay không, ta không nên quên điều này. Một vài điểm bổ sung về vô hạn sẽ là kiến thức tổng quát mà một chuyên gia về chuyển động nào cũng cần phải biết.

Một tập hợp là vô hạn nếu có một hàm từ nó vào chính nó có tính *đơn ánh* (tức là các phần tử khác nhau có các ảnh khác nhau) nhưng không *toàn ánh* (tức là một số phần tử không phải là ảnh của ánh xạ); thí dụ như ánh xạ $n \mapsto 2n$ chứng tỏ rằng tập hợp các số nguyên là vô hạn. Ta có thể kiểm tra tính vô hạn bằng cách khác: một tập hợp vô hạn nếu nó vẫn như vậy sau khi lấy đi một phần tử, ngay cả khi lặp lại động tác đó nhiều lần. Ta chỉ cần nhớ rằng tập hợp trống là *hữu hạn*.

Chỉ có các *tập hợp* là có thể vô hạn. Và tập hợp có các phần, cụ thể là các phần tử của nó. Khi một vật hay một khái niệm được gọi là 'vô hạn' ta có thể *luôn luôn* hỏi và xác định rõ các phần của nó: đối với không gian phần tử là các điểm, đối với thời gian là các thời điểm, đối với tập hợp các số nguyên là các số nguyên, v.v... Một thực thể bất

khả phân hay có thể phân chia một cách hữu hạn không có tính vô hạn.*

Có *nhiều loại* vô hạn, có kích thước khác nhau.** Kết quả quan trọng này đã được toán gia nổi tiếng Georg Cantor (b. 1845 Saint Petersburg, d. 1918 Halle an der Saale) khám phá. Ông đã chứng tỏ rằng từ tập hợp các số tự nhiên đếm được người ta có thể tạo nên các tập hợp vô hạn khác, không đếm được. Ông đã làm điều này bằng cách chứng tỏ rằng *tập hợp luỹ thừa* $P(\omega)$, cụ thể là tập hợp các tập hợp con, của một tập hợp vô hạn đếm được thì vô hạn, nhưng *không phải là* vô hạn đếm được. Nói một cách đơn giản, tập hợp luỹ thừa thì 'vô hạn hơn' tập hợp gốc. Số thực $\mathbb{R}$, là một thí dụ về tập hợp vô hạn không đếm được; có nhiều số thực hơn số tự nhiên. (Bạn có thể chứng minh điều này không?) Tuy vậy, một loại tập hợp vô hạn *bất kỳ* đều chứa ít nhất một tập hợp con vô hạn đếm được.

Câu đố 256 s

Ngay cả một tập hợp vô hạn ta vẫn có thể định nghĩa kích thước là số phần tử của nó. Cantor gọi khái niệm kích thước này là *bản số* của một tập hợp. Bản số của một tập hợp hữu hạn chỉ đơn giản là số phần tử của nó. Bản số của một tập hợp luỹ thừa bằng 2 luỹ thừa bản số của tập hợp đó. Bản số của tập hợp các số nguyên được gọi là $\aleph_0$, đọc là 'aleph không', là chữ cái đầu tiên của bảng mẫu tự Do Thái. Bản số của tập hợp *không đếm được* nhỏ nhất được gọi là $\aleph_1$. Bản số kế tiếp là $\aleph_2$ v.v... Toàn bộ nhánh toán học này liên quan tới việc xử lý các 'số' vô hạn; phép cộng, nhân, luỹ thừa được định nghĩa một cách dễ dàng. Đối với một số tập hợp, phép tính logarithm và các hàm khác cũng có ý nghĩa.

Quyển I, trang 444

Xem 249

Bản số được xác định bằng cách sử dụng tập hợp luỹ thừa, kể cả $\aleph_n$, $\aleph_\omega$ và $\aleph_{\aleph_\aleph}$, được gọi là *truy cập được*, vì từ Cantor, người ta đã xác định được các loại vô hạn lớn hơn gọi là *không truy cập được*. Các số này (bản số không truy cập được, bản số đo được, bản số siêu compact, v.v...) cần có các tiên đề tập hợp bổ sung, bằng cách mở rộng hệ ZFC. Giống như số thứ tự và bản số, chúng tạo thành các thí dụ về các *số* siêu hạn.

Số thực có bản số của tập hợp luỹ thừa của số nguyên, cụ thể là $2^{\aleph_0}$. Bạn có thể chứng minh điều này không? Kết quả này dẫn tới câu hỏi nổi tiếng: có đẳng thức $\aleph_1 = 2^{\aleph_0}$ hay không? Mệnh đề này được gọi là *giả thuyết continuum* và trải qua nhiều thế hệ chưa ai chứng minh được. Câu trả lời bất ngờ đến vào năm 1963: định nghĩa thông thường của khái niệm tập hợp không đủ để trả lời. Bằng cách làm rõ khái niệm tập hợp một cách chi tiết hơn, với các tiên đề bổ sung – tiên đề định nghĩa các tính chất – bạn có thể chứng minh giả thuyết continuum đúng hay sai theo ý bạn muốn.

Câu đố 257 s

Xem 250

Các kết quả của việc nghiên cứu các số siêu hạn cũng quan trọng: đối với mỗi định nghĩa của một loại bản số vô hạn, hình như ta có thể tìm được một số lớn hơn. Trong đời sống hằng ngày, ý tưởng vô hạn thường được sử dụng để ngăn sự bàn luận về kích thước: 'Đại ca của tôi mạnh hơn anh của anh.' 'Nhưng anh tôi mạnh hơn đại ca của anh rất nhiều!' Toán học đã chứng tỏ rằng vấn đề kích thước đã tiếp diễn như sau: 'Sức mạnh của anh tôi là tập hợp luỹ thừa của sức mạnh của anh của bạn!' Rucker đã cho rằng các toán gia đã giả định rằng không thể có một đoạn kết khả hữu có thể tưởng tượng được cho các cuộc tranh luận này.

Xem 249

* Do đó, phần lớn các vị thần, là các khái niệm (tập hợp), hoặc là hữu hạn, hay trong trường hợp họ vô hạn thì họ bất khả phân. Hình như chỉ có các quan niệm đa thần hay phiếm thần là không phiền hà vì kết luận này.

** Đúng ra có một số khổng lồ các loại vô hạn và không có một loại nào trong số này thực sự mô tả con số này. Nói theo kiểu kỹ thuật, có nhiều loại vô hạn giống như có nhiều số thứ tự.

Đối với các vật lý gia, sẽ có ngay một câu hỏi đơn giản xuất hiện. Trong thiên nhiên có các đại lượng vô hạn hay không? Hay có cần sử dụng các đại lượng vô hạn để mô tả thiên nhiên hay không? Bạn có thể tự phân tích ý kiến riêng của bạn về vấn đề này. Câu hỏi này sẽ được giải quyết trong phần còn lại của cuộc thám hiểm.

Câu đố 258 e

Hàm và cấu trúc

Những quan hệ nào có lợi cho việc mô tả các kiểu thức trong thiên nhiên? Một thí dụ điển hình là 'hòn đá lớn hơn thì nặng hơn.' Quan hệ như vậy là một loại đặc biệt: nó liên hệ một giá trị đặc biệt của biến động lực 'thể tích' với một giá trị đặc biệt của biến động lực 'khối lượng.' Một quan hệ 1-1 như vậy được gọi là *một hàm (toán học)* hay *một ánh xạ*. Hàm là loại quan hệ đặc biệt nhất; như vậy chúng mang một lượng cực đại các thông tin. Giống như số được sử dụng cho các biến động lực, hàm cho phép truyền đạt quan hệ giữa 2 biến động lực một cách dễ dàng và chính xác. Mọi quy luật và 'định luật' vật lý được phát biểu nhờ sự giúp đỡ của hàm và vì các 'định luật' vật lý liên quan đến các số đo nên hàm số là các viên gạch xây dựng chính yếu của chúng.

Một *hàm* f, hay *ánh xạ*, là một quan hệ 2 ngôi, tức là một tập hợp $f = \{(x, y)\}$ của các cặp thứ tự, trong đó đối với mỗi phần tử x, là *đối số*, chỉ có *1* cặp (x, y). Phần tử thứ 2 y là *giá trị* của hàm tại x. Tập hợp X của các đối số x được gọi là *miền xác định* và tập hợp Y của đối số thứ 2 y được gọi là *miền giá trị* của hàm số. Thay vì $f = \{(x, y)\}$ ta viết

$$f : X \to Y \quad \text{và} \quad f : x \mapsto y \quad \text{hay} \quad y = f(x) , \qquad (98)$$

trong đó kiểu mũi tên – có gạch đứng hay không – cho biết là ta đang nói về tập hợp hay các phần tử.

Cũng nên chú ý rằng ta có thể sử dụng cặp 'tập hợp' và 'ánh xạ' để định nghĩa mọi khái niệm toán học; trong trường hợp này quan hệ được định nghĩa nhờ ánh xạ. Một trường phái Toán học hiện đại đã hình thức hoá cách tiếp cận này bằng cách sử dụng *các phạm trù* toán học, một khái niệm bao gồm cả tập hợp lẫn quan hệ trên một nền tảng bình đẳng trong định nghĩa của nó.* Để có thể suy nghĩ và bàn luận rõ ràng hơn về thiên nhiên, ta cần định nghĩa các khái niệm chuyên biệt hơn tập hợp, quan hệ và hàm vì những thuật ngữ cơ bản này quá tổng quát. Các khái niệm quan trọng nhất dẫn xuất từ chúng là phép toán, cấu trúc đại số và số.

Một phép toán (2 ngôi) là một hàm ánh xạ tích Cartesian của 2 bản sao tập hợp X vào chính nó. Nói cách khác, một phép tính w lấy một cặp thứ tự của đối số $x \in X$ và gán cho nó một giá trị $y \in X$:

$$w : X \times X \to X \quad \text{và} \quad w : (x, x) \mapsto y . \qquad (99)$$

Câu đố 259 s Phép chia các số có là một phép toán theo nghĩa vừa rồi hay không?

---

* *Một phạm trù* toán học được định nghĩa là một hệ các đối tượng và một hệ các 'cấu xạ' hay ánh xạ. Cấu xạ có thể có dạng phức hợp; nó có tính kết hợp và có một cấu xạ đồng nhất. Để biết thêm chi tiết bạn có thể tham khảo trong các tài liệu toán học.

Cũng nên chú ý rằng mỗi phạm trù đều chứa một tập hợp; vì ta không rõ thiên nhiên có chứa các tập hợp hay không, như ta sẽ bàn luận dưới đây, nên ta có thể nghi ngờ không biết phạm trù có hữu ích trong vấn đề thống nhất của Vật lý hay không, mặc dù chúng tràn đầy sức sống cùng với một sự quyến rũ mơ hồ.

Xem 251
Trang 327

Bây giờ ta đã sẵn sàng định nghĩa khái niệm đầu tiên trong 3 khái niệm cơ bản của Toán học. Một *cấu trúc đại số*, hay *hệ đại số*, (theo nghĩa chặt chẽ nhất) là một tập hợp cùng với một phép toán nào đó. Các cấu trúc quan trọng nhất xuất hiện trong Vật lý là nhóm, không gian vector và các đại số.

Quyển IV, trang 236

Ngoài các cấu trúc đại số, Toán học đặt nền tảng trên *các cấu trúc thứ tự* và *các cấu trúc topo*. Cấu trúc thứ tự là các viên gạch xây dựng của số và cần thiết cho các phép so sánh. Cấu trúc topo được xây dựng trên khái niệm lân cận thông qua các tập hợp con. Chúng cần thiết cho việc định nghĩa sự liên tục, giới hạn, thứ nguyên, không gian topo và đa tạp.

Quyển V, trang 364

Dĩ nhiên là phần lớn các cấu trúc đại số là tổ hợp của 3 loại cấu trúc cơ bản này. Thí dụ như *hệ* các số thực là *tập hợp* các số thực cùng với *phép toán* cộng và nhân, *quan hệ thứ tự* 'lớn hơn' và *tính liên tục*. Như vậy chúng được xây dựng bằng cách tổ hợp một cấu trúc đại số, một cấu trúc thứ tự và một cấu trúc topo. Chúng ta hãy tìm hiểu kỹ hơn một chút.

Xem 252

Số

Câu đố 260 s

> “Số nào nhân với 6 thì số sau cùng được lấy đi và chuyển cho số đứng trước nó?”

Số là khái niệm toán học xưa nhất và được tìm thấy trong mọi nền văn hoá. Khái niệm số, trong tiếng Hy Lạp là ἀριθμός, đã thay đổi nhiều lần. Mục đích thay đổi là để bao gồm các lớp đối tượng rộng hơn nhưng ý tưởng tổng quát là số có thể cộng, trừ, nhân, chia thì luôn luôn không đổi.

Cách viết số hiện nay, thí dụ như $12\,345\,679 \cdot 54 = 666\,666\,666$, là điểm cốt yếu của khoa học.* Người ta cho rằng việc thiếu một hệ chữ viết và tính toán bằng số đã trì hoãn sự tiến bộ của khoa học trong nhiều thế kỷ. Cũng cần nói thêm việc trì hoãn cũng được đổ cho việc không có phương tiện thích hợp để sản xuất hàng loạt các văn bản viết tay.

Các số đơn giản nhất, $0, 1, 2, 3, 4, ...$, thường được xem như lấy trực tiếp từ kinh nghiệm. Tuy vậy, ta cũng có thể xây dựng chúng từ các khái niệm 'quan hệ' và 'tập hợp'. Một trong nhiều cách để làm việc này là xác định một số tự nhiên bằng tập hợp các số đi trước nó (Bạn có thể tìm ra cách khác không?). Với quan hệ 'phần tử đứng sau của', viết tắt là S, định nghĩa này có thể viết là

Câu đố 261 s

$$0 := \varnothing \quad , \quad 1 := S\,0 = \{0\} = \{\varnothing\} \quad ,$$
$$2 := S\,1 = \{0, 1\} = \{\varnothing, \{\varnothing\}\} \quad \text{and} \quad n + 1 := S\,n = \{0, ..., n\} \,. \qquad (100)$$

Tập hợp này cùng với phép toán 2 ngôi 'cộng' và 'nhân' tạo thành hệ đại số $N = (N, +, \cdot, 1)$ của *số nguyên tự nhiên*. Đối với mọi hệ thống số, hệ đại số và tập hợp thường được gán cùng một ký hiệu. Hệ đại số N là cái mà toán gia gọi là nửa vành. (Một số tác giả không thích xem số zero là một số tự nhiên). Số tự nhiên rất có ích.

Quyển IV, trang 224

* Tuy vậy, ta không cần viết các con số để làm toán, điều đã được chứng minh trong quyển sách thú vị của MARCIA ASCHER, *Ethnomathematics – A Multicultural View of Mathematical Ideas*, Brooks/Cole, 1991.

BẢNG 23 Một số các số lớn.

Số	Thí dụ trong thiên nhiên
Chung quanh ta	
1	số thiên thần ở một nơi, tại một thời điểm, theo Thomas Aquinas Xem 254
8	số lần gấp một tờ báo theo các phương vuông góc luân phiên
12	số lần gấp lớn nhất của một băng giấy theo cùng một hướng Xem 255
20	số chữ số trong các phép đo chính xác mà có lẽ không bao giờ đạt được
21, 34, 55, 89	số cánh của các loại hoa cúc và hoa hướng dương Xem 256
57	số mặt của kim cương lấp lánh
2000 tới 6000	số sao khả kiến trên bầu trời đêm
15 000	số đồ vật trung bình trong một nhà ở châu Âu
10^5	lá trên cây (cây sồi cao 10 m)
6 tới $7 \cdot 10^9$	số người năm 2000
10^{17}	số kiến trên thế giới
c. 10^{20}	số bông tuyết rơi trên Trái đất mỗi năm
c. 10^{24}	số hạt cát trong sa mạc Sahara
10^{22}	số sao trong vũ trụ
$10^{25\pm1}$	số tế bào trên Trái đất
$1.1 \cdot 10^{50}$	số nguyên tử tạo nên Trái đất ($6370^3\,\mathrm{km}^3 \cdot 4 \cdot 3.14/3 \cdot 5500\,\mathrm{kg/m}^3 \cdot 30\,\mathrm{mol/kg} \cdot 6 \cdot 10^{23}\,/\mathrm{mol}$)
10^{81}	số nguyên tử trong vũ trụ khả kiến
10^{90}	số photon trong vũ trụ khả kiến
10^{169}	số nguyên tử đặt vừa trong vũ trụ khả kiến
10^{244}	số điểm không-thời gian trong vũ trụ khả kiến
Thông tin	
51	số mẫu tin của ngôn ngữ do một người nói
c. 5000	số từ trung bình mà một người đàn ông nói trong ngày
c. 7000	số từ trung bình mà một người đàn bà nói trong ngày
c. 2 000 000	số khoa học gia trên Trái đất trong năm 2000
$3 \cdot 10^8$	số từ được nói trong một đời người (2/3 thời gian là thức, 30 từ/phút)
10^9	số từ nghe và đọc trong một đời người
$4 \cdot 10^9$	số xung được 2 bán cầu não trao đổi mỗi giây
$3 \cdot 10^{12}$	số cây trên Trái đất
10^{17}	số điểm ảnh mà một người nhìn thấy trong đời ($3 \cdot 10^9\,\mathrm{s} \cdot (1/15\,\mathrm{ms}) \cdot 2/3$ (thức) $\cdot 10^6$ (dây thần kinh dẫn tới não) Xem 257
10^{19}	số bit thông tin được xử lý trong một đời người (số trên X 32)
c. $5 \cdot 10^{12}$	số từ được in trong các sách (khác nhau) trên thế giới (*c.* $100 \cdot 10^6$ sách chứa 50 000 từ)
$2^{10} \cdot 3^7 \cdot 8! \cdot 12!$ $= 4.3 \cdot 10^{19}$	vị trí khả hữu của khối Rubik $3 \times 3 \times 3$ Xem 258
$5.8 \cdot 10^{78}$	vị trí khả hữu của khối Rubik $4 \times 4 \times 4$
$5.6 \cdot 10^{117}$	vị trí khả hữu của khối Rubik $5 \times 5 \times 5$

Số	Thí dụ trong thiên nhiên
c. 10^{200}	số ván cờ vua khả hữu
c. 10^{800}	số ván cờ go khả hữu
c. 10^{10^7}	số trạng thái khả hữu trong 1 PC
Các bộ phận của cơ thể	
600	số bắp thịt trong cơ thể (1/2 ở trên mặt)
150 000 ± 50 000	số sợi tóc trên đầu người khoẻ mạnh
900 000	số neuron trong não cào cào
$126 \cdot 10^6$	số tế bào nhạy sáng trên mỗi võng mạc (120 triệu tế bào hình que và 6 triệu tế bào hình nón)
$86(8) \cdot 10^9$	số neuron trong não người
$500 \cdot 10^6$	số chớp mắt trong một đời người (khoảng 4 lần/s khi thức)
$300 \cdot 10^6$	số lần thở trong một đời người
$3 \cdot 10^9$	số nhịp tim trong một đời người
$3 \cdot 10^9$	số ký tự (cặp base) trong DNA đơn bội của người
$10^{15\pm1}$	số tế bào trong cơ thể người
$10^{16\pm1}$	số vi khuẩn trong cơ thể người

Hệ số *nguyên* $Z = (..., -2, -1, 0, 1, 2, ..., +, \cdot, 0, 1)$ là vành cực tiểu mở rộng của số nguyên tự nhiên. Hệ *số hữu tỷ* $Q = (Q, +, \cdot, 0, 1)$ là trường cực tiểu mở rộng của vành cực tiểu các số nguyên. (Các thuật ngữ 'vành' và 'trường' sẽ được định nghĩa chi tiết trong quyển kế tiếp.) Hệ *số thực* $R = (R, +, \cdot, 0, 1, >)$ là mở rộng cực tiểu của số hữu tỷ có tính liên tục và có thứ tự toàn phần. (Về tính liên tục hãy xem quyển IV, Trang 225, và quyển V, Trang 365.) Số thực là mở rộng cực tiểu của số hữu tỷ tạo thành một trường có thứ tự, đầy đủ, Archimede nghiêm cách. Đây là cách xây dựng có tính lịch sử – hay định nghĩa – của số nguyên, số hữu tỷ và số thực từ số nguyên tự nhiên. Tuy vậy đó không phải là cách xây dựng khả hữu duy nhất. Định nghĩa hoàn mỹ nhất của các loại số này đã được John Conway, Donald Knuth và Martin Kruskal khám phá và quảng bá năm 1969.

Quyển IV, trang 224

Xem 259

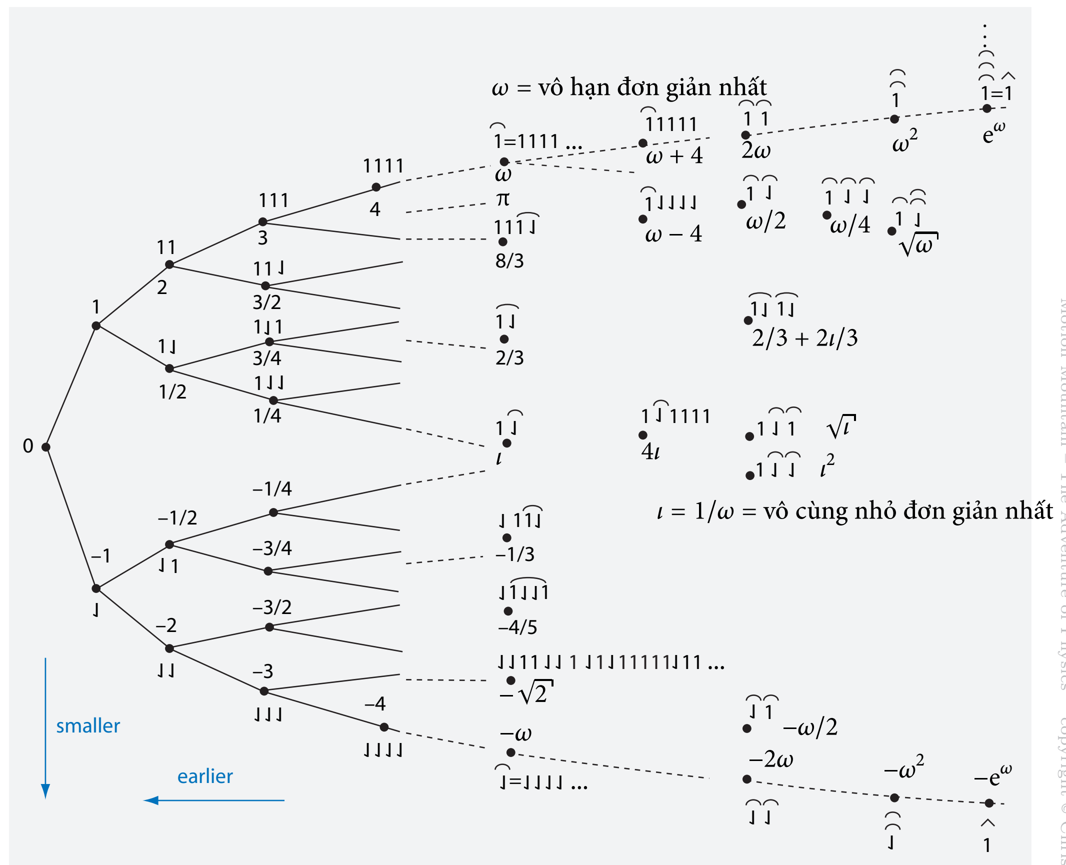
▷ *Số* là một dãy các bit.

Hai bit thường được gọi là 'lên' và 'xuống'. Thí dụ về số và cách viết số được cho trong Hình 182.

Dãy trống là số 0. Một dãy hữu hạn *n* 'lên' là số nguyên *n*, và một dãy hữu hạn *n* 'xuống' là $-n$. Các dãy hữu hạn hoà trộn lên và xuống là *số hữu tỷ nhị nguyên*. Thí dụ như 1, 2, 3, −7, 19/4, 37/256, v.v... Chúng có mẫu số là luỹ thừa của 2. *Các số hữu tỷ khác* tận cùng bằng một chuỗi lặp lại các lên và xuống vô số lần như *số thực*, *số vô cùng nhỏ* và các số vô hạn đơn giản. Các chuỗi vô hạn dài hơn sẽ biểu diễn các số kỳ dị hơn.

Lớp đầy đủ các số được định nghĩa bằng một dãy bit được gọi là lớp số *siêu thực*.*

* Số siêu thực *không* tạo thành một tập hợp vì nó chứa mọi *số thứ tự*, mà bản thân chúng không tạo thành một tập hợp mặc dù chúng *có chứa* các tập hợp. Tóm lại, số thứ tự và số siêu thực là các lớp *lớn hơn* các tập hợp.



HÌNH 182 Các số siêu thực viết theo dạng quy ước và theo dạng bit.

Có một cách thứ 2 để viết số siêu thực. Cách đầu tiên chỉ đề cập đến chuỗi bit. Nhưng để định nghĩa phép cộng và phép nhân, các ký hiệu khác thường được sử dụng, suy ra từ Hình 182. Một số siêu thực α được định nghĩa là số đứng trước mọi số nằm giữa 2 chuỗi (bên trái và bên phải) của số siêu thực đứng trước:

$$\alpha = \{a, b, c, ...|A, B, C, ...\} \quad \text{với} \quad a, b, c, < \alpha < A, B, C \,. \qquad (101)$$

Thí dụ như ta có

$$\{0|\} = 1 \,,\ \{0, 1\,|\} = 2 \,,\ \{|0\} = -1 \,,\ \{|-1, 0\} = -2 \,,\ \{0\,|1\} = 1/2 \,,$$
$$\{0\,|1/2, 1/4\} = 1 \,,\ \{0, 1, 3/2, 25/16\,|\,41/16, 13/8, 7/4, 2\} = 1 + 37/64 \,, \qquad (102)$$

chứng tỏ rằng các số siêu thực hữu hạn là *các số nhị nguyên* $m/2^n$ (n và m là số nguyên). Với hai số siêu thực đã cho $\alpha = \{..., a, ...|..., A, ...\}$ với $a < \alpha < A$ và $\beta = \{..., b, ...|..., B, ...\}$ với $b < \beta < B$, phép cộng được định nghĩa đệ quy, bằng cách sử dụng các số đứng trước

đã định nghĩa là

$$\alpha + \beta = \{..., a + \beta, ..., \alpha + b, ...|..., A + \beta, ..., \alpha + B, ...\} . \quad (103)$$

Định nghĩa này được sử dụng đơn giản chỉ vì nó cho cùng một kết quả như phép cộng thông thường đối với số nguyên và số thực. Bạn có thể chứng minh điều này không? Cũng nên nói thêm là phép cộng không phải lúc nào cũng giao hoán. Bạn có thể tìm ra
Câu đố 262 s
các ngoại lệ và các định nghĩa cho phép trừ không? Phép nhân cũng được định nghĩa đệ quy, cụ thể là theo biểu thức

$$\alpha\beta = \{..., a\beta + \alpha b - ab, ..., A\beta + \alpha B - AB, ...| \\ ..., a\beta + \alpha B - aB, ..., A\beta + \alpha b - Ab, ...\} . \quad (104)$$

Các định nghĩa này cho phép ta viết $\iota = 1/\omega$ và nói về các số như $\sqrt{\omega}$, căn bậc 2 của vô
Xem 259
hạn, về $\omega + 4$, $\omega - 1$, 2ω, e^{ω} và các số kỳ lạ khác được trình bày trong Hình 182. Tuy vậy, các số siêu thực không được sử dụng nhiều. Một trong các tập hợp con của chúng thì được sử dụng nhiều hơn.

Số thực là số siêu thực có khai triển thập phân không lớn hơn vô hạn và ngoài ra các số 0.999999... và 1.000000..., được xem như bằng nhau. Nói cách khác, số siêu thực phân biệt 0.999999... với 1, trong khi số thực thì không. Thật vậy, giữa 2 số siêu thực này có
Câu đố 263 s
vô hạn các số siêu thực khác. Bạn có thể nêu tên một số trường hợp không?

Số thực hữu dụng hơn số siêu thực trong việc mô tả thiên nhiên trước tiên là vì chúng tạo thành một *tập hợp* – còn số siêu thực thì không – và thứ hai vì chúng cho phép định nghĩa *tích phân*. Các loại số khác định nghĩa nhờ số thực, thí dụ như số phức $\mathbb{C}$, quaternion $\mathbb{H}$và một vài hệ thống số phức tạp hơn sẽ được trình bày trong quyển kế tiếp.

Quyển IV, trang 224
Tóm lại, trong Vật lý người ta thường gọi *số* là các phần tử của một tập hợp bất kỳ là nửa vành (như $\mathbb{N}$), vành (như $\mathbb{Z}$) hay trường ($\mathbb{Q}$, $\mathbb{R}$, $\mathbb{C}$, $\mathbb{H}$). Vì số cho ta so sánh các độ lớn tức là các *số đo* nên số đóng vai trò chính trong việc mô tả các thí nghiệm.

Xem 260

> “Một số trái banh bằng nhau được gói vào một tờ giấy sao cho diện tích của giấy cần thiết là nhỏ nhất. Nếu banh ít thì cách gói thẳng, các banh nằm trong 1 hàng, là hiệu quả nhất. Với bao nhiêu trái banh thì cách gói thẳng không còn là nhỏ nhất nữa?”

Câu đố 264 s

Có phải Toán học lúc nào cũng hữu dụng không?

> “Die Forderung der Möglichkeit der einfachen Zeichen ist die Forderung der Bestimmtheit des Sinnes.*”
>
> Ludwig Wittgenstein, *Tractatus*, 3.23

Số giống như phần lớn các khái niệm toán học khác, được phát triển một cách chính xác với mục đích là mô tả thiên nhiên.

* ‘Yêu cầu dấu hiệu phải đơn giản là yêu cầu ý nghĩa phải xác định.’

▷ Số và các khái niệm toán học được phát triển ngay từ đầu để cung cấp một sự mô tả thật súc tích.

Tính chất này là một hệ quả của định nghĩa Toán học là *khoa học của các điều thiết yếu trình bày dưới dạng ký hiệu*. Toán học là *công cụ* giúp ta suy nghĩ. Đây là lý do khiến Toán học được sử dụng trong Vật lý, khoa học của chuyển động.

Nhiều vật lý gia nổi tiếng vẫn thắc mắc *tại sao* Toán học lại hữu dụng như vậy. Thí Xem 262 dụ như Niels Bohr đã từng nói: 'Chúng ta vẫn chưa biết tại sao ngôn ngữ Toán học lại hữu hiệu đến như vậy trong việc thiết lập các định luật dưới dạng cô đọng nhất.' Eugene Wigner đã viết một bài báo thường được trích dẫn nhan đề 'Sự hữu hiệu đến mức vô Xem 263 lý của Toán học.' Vào thuở ban đầu của khoa học, trước đây nhiều thế kỷ, Pythagoras và những người cùng thời đã choáng ngợp trước sự hữu dụng của các con số trong việc mô tả thiên nhiên đến nỗi Pythagoras đã tổ chức hẳn một môn phái dựa trên sự hữu dụng này. Các thành viên của môn phái này được gọi là 'các nhà thông thái' tiếng Hy Lạp là '*các nhà toán học*', từ tiếng Hy Lạp μάθημα có nghĩa là 'giảng dạy'. Tên môn phái trở thành tên một nghề mới. Nhưng băn khoăn về tính hữu hiệu của Toán học cũng giống như băn khoăn về tính hữu hiệu của đồ nghề của thợ mộc.

Có lẽ ta hơi quá tuỳ tiện. Có lẽ các nhà tư tưởng mà ta đã đề cập chỉ muốn nói lên cảm tưởng khi trải nghiệm sự hoạt động của ngôn ngữ, của tư duy, của trí não và cảm xúc về vẻ đẹp của đời sống và thiên nhiên. Điều này sẽ đưa ta tới gần với câu nói nổi tiếng của Albert Einstein: 'Điều khó hiểu nhất về vũ trụ là ta có thể hiểu được nó'. Sự lĩnh hội là một từ khác của từ mô tả, tức là sự phân loại. Dĩ nhiên là một hệ thống có thể phân tích được thì có thể hiểu được. Nhưng ta có thể phân tích vũ trụ được hay không?

Điều giả định cơ bản mà ta đề ra lúc đầu là tính phân tích được của thiên nhiên và vũ trụ. Đây là tư tưởng chủ yếu mà môn phái Pythagoras phát biểu trong điều mà họ tin tưởng sau đây

▷ Mọi vật trong thiên nhiên đều là số.

Nếu vũ trụ còn được mô tả là được cấu tạo từ hạt và chân không thì niềm tin này vẫn đúng. Nhưng Pythagoras và môn phái của ông đã sai. Không như điều mà họ tin tưởng, các quan sát cho ta thấy những điều ngược lại. Số thực sự có ích trong đời sống nhưng không phải là nền tảng của thiên nhiên. Ta sẽ đi đến kết luận này trong phần cuối cùng của cuộc thám hiểm. Thật vậy, việc giả định rằng các hiện tượng trong thiên nhiên có thể phân tích được chỉ là sự gần đúng. Tóm lại:

▷ Việc đếm luôn luôn là một sự gần đúng.

Ngay cả việc đếm táo cũng là gần đúng; nó chỉ đúng khi ta ở mức năng lượng thấp và độ cong nhỏ. Vật lý đã được xây dựng trên cát. Ta cần một nền tảng vững chắc hơn. Đúng ra Toán học không có ích trong việc tìm kiếm một mô tả thống nhất của thiên nhiên. Với một nền tảng vững chắc hơn, 'tính không thể hiểu được' của thiên nhiên sẽ biến thành sự kinh ngạc về độ chính xác của tính gần đúng của phép đếm. Kinh nghiệm này sẽ là đỉnh cao của cuộc thám hiểm.

“ Die Physik ist für Physiker viel zu schwer.* ”
David Hilbert

Các câu đố vui và lạ về Toán học

Câu đố 265 s Số lớn nhất mà ta có thể viết được bằng 4 chữ số 2 và không có dấu nào khác là số mấy? Nếu là 4 chữ số 4?

* *

Bộ ba Pythagore là các số nguyên nghiệm đúng công thức $a^2 + b^2 = c^2$. Cho ít nhất 10 thí dụ. Sau đó chứng minh 3 tính chất sau đây: ít nhất có một số là bội số của 3; ít nhất có một số là bội số của 4; ít nhất có một số là bội số của 5. Câu đố 266 e

* *

Đây là cách nhân các số giữa 5 và 10 bằng bàn tay mà không sử dụng bảng cửu chương. Lấy 8 và 7 làm thí dụ. Trong mỗi bàn tay, duỗi số ngón vượt quá 5. Trong thí dụ này là 3 và 2 ngón. *Tổng* số ngón duỗi ra là số hàng chục, *tích* các ngón gập vào là số hàng đơn vị. Trong thí dụ này là 5 chục và 6 đơn vị, tức là 56.

* *

Câu đố 267 e Có bao nhiêu số 0 ở cuối của 1000! ?

* *

Một bà mẹ lớn hơn con 21 năm và trong 6 năm nữa đứa con sẽ trẻ hơn mẹ 5 lần. Người cha ở đâu? Đây là *Bài toán người mẹ trẻ*. Câu đố 268 s

* *

Số $1/n$, viết dưới dạng thập phân, có một dãy các chữ số tuần hoàn. Chu kỳ dài nhất là $n - 1$ chữ số, thí dụ như $1/7 = 0.142857\,142857\,1428....$ Số $1/n$ nào khác có chu kỳ dài $n - 1$ chữ số? Câu đố 269 d

* *

Felix Klein là một giáo sư toán nổi tiếng ở đại học Göttingen. Có 2 loại toán gia trong khoa của ông: người nghiên cứu điều họ thích và người mà Klein cung cấp đề tài. Klein thuộc loại nào? Câu đố 270 s

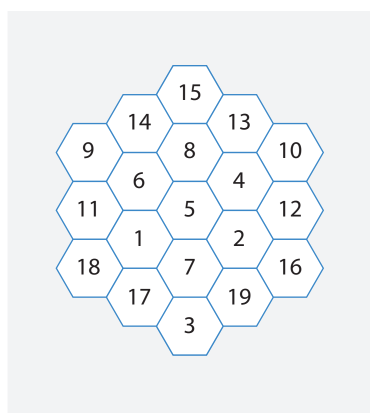
Dĩ nhiên đây là biến thể của một bài toán nổi tiếng khác. Một thợ hớt tóc cạo râu cho mọi người không tự cạo cho mình. Ông ta có cạo râu cho mình không? Câu đố 271 s

* *

Mọi người đều biết đến *Ma phương*: một bảng vuông chứa các số, trong trường hợp đơn giản nhất là từ 1 đến 9, được phân bố sao cho tổng các hàng, cột (và nếu có thể là các đường chéo) đều có kết quả như nhau. Bạn có thể viết ra *ma lập phương* $3 \times 3 \times 3$ không? Câu đố 272 s

* *

* ‘Đối với các nhà vật lý thì Vật lý học quá khó.’



HÌNH 183 Lục giác kỳ ảo duy nhất bắt đầu từ số 1 (tăng lên theo phép phản chiếu và phép quay).

Trong lịch sử của Toán học giải trí, nhiều người đã tìm ra lục giác kỳ ảo nổi tiếng trong Hình 183. Người khám phá vào năm 1887 là Ernst von Hasselberg. Hình này được gọi là kỳ ảo vì tổng của mọi hàng đều là 38. Hasselberg cũng chứng minh được điều khó tin là không có hình lục giác kỳ ảo nào khác. Bạn có thể khẳng định điều này không?

Câu đố 273 d

* *

Các chữ số từ 0 tới 9 được tìm thấy trên các bàn phím theo 2 cách khác nhau. Máy tính bỏ túi và bàn phím có 7 ở góc trên bên trái, trong khi ở điện thoại và ATM có số 1 ở góc trên bên trái. Hai tiêu chuẩn này, một của International Standards Organization (ISO) và một của International Telecommunication Union (ITU, trước kia là CCITT), phát triển riêng và không bao giờ kết hợp với nhau.

Xem 264

* *

Câu đố 274 e

Bạn có thể sáng chế một máy đếm tóc trên đầu không?

* *

Thỉnh thoảng Leonhard Euler viết trong sổ tay của mình các phương trình như

$$1 + 2^2 + 2^4 + 2^6 + 2^8 + \ldots = -\frac{1}{3} . \quad (105)$$

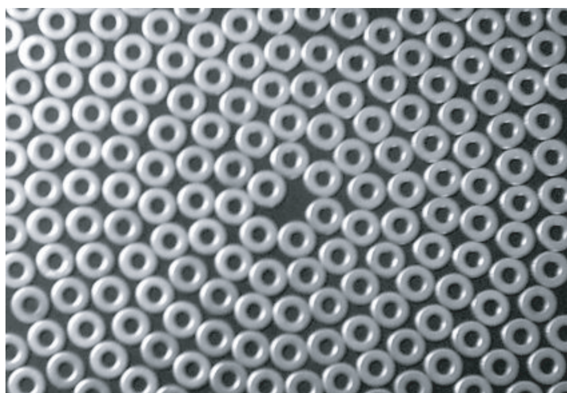
Câu đố 275 d

Điều này có nghĩa là gì?

* *

Trong nhiều bông hoa, ta thấy các số từ *dãy Fibonacci* 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21 v.v... xuất hiện. Hình 190 cho ta vài thí dụ. Người ta thường cho rằng đây là một kết quả có ý nghĩa sâu sắc của vẻ đẹp trong thiên nhiên. Điều này *không* phải lúc nào cũng đúng như Hình 184 cho thấy. Đánh dấu 1 điểm trên một mặt và đặt các vòng đệm quanh nó bằng tay theo hình xoắn ốc; bạn sẽ thấy các đường xoắn ốc giống như trong nhiều cánh hoa và ở các đường biên là các số Fibonacci. Bằng chứng của Donald Simanek chứng tỏ rằng không có gì sâu sắc, phức tạp hay ngay cả bí mật trong sự xuất hiện của số Fibonacci trong cây

Quyển I, trang 246
Xem 256



HÌNH 184 Số Fibonacci và các đường xoắn ốc từ các vòng đệm (© Donald Simanek).

cỏ. Đối với quan điểm ngược lại, hãy đọc Xem 256 và nhiều bài báo về các kiểu thức trong hoa hướng dương.

* *

Số nguyên tố là một sân chơi mà nhiều nhà toán học ưa thích. Một kết quả nổi tiếng là mọi số nguyên tố p_i đều có thể biểu diễn là

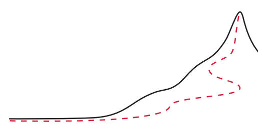
$$\prod_{i=1}^{\infty}(1-\frac{1}{p_i^2})=\frac{6}{\pi^2} \tag{106}$$

Câu đố 276 s Bạn có thể hình dung ra cách chứng minh kết quả này không?

* *

Các chữ số có tên từ tiếng latin ‘digitum’ hay là ngón tay. Trong giai đoạn việc viết lên giấy còn đắt đỏ, người ta đã có thể đếm lên tới 9999 bằng cách dùng 2 bàn tay với một hệ đếm do Beda Venerabilis phát triển và được Luca Pacioli quảng bá. Bạn có thể phát triển một hệ thống tương tự không? Câu đố 277 e





Chương 9
Sự quan sát, những lời nói xạo và các kiểu thức của thiên nhiên

> Die Grenzen meiner Sprache bedeuten die Grenzen meiner Welt.**
>
> Ludwig Wittgenstein, *Tractatus*, 5.6

> Der Satz ist ein Bild der Wirklichkeit. Der Satz ist ein Modell der Wirklichkeit, so wie wir sie uns denken.***
>
> Ludwig Wittgenstein, *Tractatus*, 4.01

Xem 265

Trái với Toán học, Vật lý không có mục đích trở thành một ngôn ngữ. Nhưng nó rất tham vọng: hướng tới việc diễn đạt *hoàn toàn* chính xác *mọi điều*, và đặc biệt, mọi trường hợp và khả năng biến đổi. Mọi quan sát đều liên quan tới sự thay đổi. Hiện nay Vật lý nghiên cứu về chuyển động. Nhưng vì mọi thay đổi đều bắt nguồn từ sự chuyển động nên ta cũng có thể gọi Vật lý là sự nghiên cứu về chuyển động.

Vật lý là ngôn ngữ của sự biến đổi. Giống như các ngôn ngữ khác, Vật lý gồm có các khái niệm và câu. Để có thể diễn đạt mọi điều nó phải hướng tới việc sử dụng rất ít từ cho nhiều sự kiện.**** Các vật lý gia chủ yếu là những người *lười biếng*: họ cố gắng giảm thiểu nỗ lực trong mọi hành động. Các khái niệm đang sử dụng hiện nay đã được tối ưu hoá nhờ sự nỗ lực của nhiều người kết hợp để có ý nghĩa thực tiễn nhất, tức là hiệu quả nhất. Một khái niệm được gọi là *có hiệu quả* khi nó cho phép ta diễn đạt thật cô đọng một số lượng lớn thông tin, tức là nó có thể chuyên chở thật nhanh một số lớn thông tin về các hiện tượng.

Các mệnh đề tổng quát về những trường hợp của chuyển động được gọi là *quy luật* hay *kiểu thức*. Trong quá khứ, người ta thường nói rằng 'các định luật chi phối thiên nhiên', tức là sử dụng một ý thức hệ cổ xưa và không thích hợp. Một 'định luật' vật lý chỉ là một cách nói thật nhiều điều với thật ít lời. Khi ta nói 'định luật chi phối thiên nhiên' ta thực sự muốn nói 'ta mô tả các quan sát bằng các kiểu thức, một cách lười biếng'. Định

** 'Giới hạn ngôn ngữ của tôi là giới hạn thế giới của tôi.'

*** 'Một mệnh đề là một hình ảnh của thực tại. Một mệnh đề là một mô hình của thực tại giống như ta tưởng tượng.'

**** Một quan sát đặc biệt tức là một trường hợp mà dữ liệu được nhiều người tán đồng được gọi là một *sự kiện*, hay trong một ngữ cảnh khác, một *biến cố*. Một sự kiện nổi bật và thường xảy ra được gọi là một *hiện tượng* và một hiện tượng tổng quát được tạo ra trong nhiều hoàn cảnh khác nhau được gọi là *nguyên lý (vật lý)*. (Thông thường khi một khái niệm được sử dụng với ý nghĩa khác với ý nghĩa trong một lĩnh vực khác, nó thường kèm theo hạn định từ 'vật lý' hay 'toán học' đặt trong ngoặc đơn.) Hành động được thực hiện với mục đích thu thập dữ liệu quan sát được gọi là *thí nghiệm*. Khái niệm thí nghiệm đã được thiết lập trong thế kỷ 16; trong quá trình trưởng thành của một đứa trẻ ta có thể so sánh việc đó với việc có cùng mục đích thu thập kinh nghiệm: *chơi đùa*.

luật là một hình ảnh thu nhỏ của sự lười biếng. Việc thiết lập các định luật là một sự lười biếng thuần tuý. Đúng ra mệnh đề đúng phải là

▷ Các kiểu thức mô tả thiên nhiên.

Các nhà vật lý đã viết về sự lười biếng cần thiết để tìm ra các kiểu thức có thật nhiều chi tiết. Để trở thành bậc thầy của sự lười biếng, ta cần phân biệt các kiểu thức lười biếng với những lời nói xạo, niềm tin và các mệnh đề khác không đề cập gì tới quan sát hay chuyển động.

Trang 303

Cuộc tìm kiếm sự lười biếng là nguồn gốc của việc sử dụng số trong Vật lý. Các biến động lực thường được mô tả tốt nhất nhờ các con số vì số làm cho sự truyền đạt và phân loại trở nên dễ dàng và chính xác. Chiều dài, vận tốc, góc, nhiệt độ, hiệu thế hay cường độ trường thuộc loại này. Khái niệm 'số' được sử dụng trong phép đo, được xây dựng, thường là vô thức, từ các khái niệm 'tập hợp' và 'quan hệ'. Ngoài khái niệm số, các khái niệm khác cũng thường được định nghĩa để ta có thể truyền đạt thật nhanh và cô đọng các 'định luật' của thiên nhiên; tất cả đều là các 'công cụ viết tắt'. Theo nghĩa này, mệnh đề 'mức độ của đại số Kac–Moody của Lagrangian của kiểu thức siêu dây lại bằng 1' chứa thông tin chính xác và dễ hiểu đối với mọi người; tuy vậy, ta cần hàng chục trang giấy để diễn đạt nó bằng cách chỉ sử dụng các thuật ngữ 'tập hợp' và 'quan hệ'. Tóm lại, *sự chính xác* thường gặp trong vật lý là kết quả của *cuộc tìm kiếm sự lười biếng*.

> Es ist besser, daß die Leute nicht wissen, wie Gesetze und Wurst zustande kommen. Sonst könnten sie nachts nicht ruhig schlafen.*
>
> Bismarck, Otto von

Các khái niệm vật lý được khám phá hay được tạo ra?

> Das logische Bild der Tatsachen ist der Gedanke.**
>
> Ludwig Wittgenstein, *Tractatus*, 3

Câu hỏi trên thường được phát biểu lại như sau: các khái niệm vật lý có bị niềm tin hay sở thích chi phối hay không? Vấn đề này được bàn luận nhiều đến nỗi nó được đưa lên film ở Hollywood. Chúng ta sẽ tóm lược lại để giúp bạn có thể phân biệt người thầy trung thực với người thầy không trung thực.

Nếu khái niệm được tạo ra thay vì được khám phá thì ta được quyền tự do lựa chọn giữa nhiều khả năng khác nhau. Định nghĩa của khái niệm được chọn sẽ bắt nguồn từ niềm tin hay khẩu vị. Nhưng trong Vật lý (dĩ nhiên là khác với các lĩnh vực nghiên cứu khác), ta đã biết rằng các mô tả vật lý khác nhau về những hiện tượng quan sát được thì có thể tương đương, không chính xác hay ngay cả sai lầm. Một mô tả vật lý thì duy nhất: sự lựa chọn khái niệm chỉ là biểu kiến. *Không có tự do thực sự trong việc định nghĩa các khái niệm vật lý.* Về tính chất này thì Vật lý tương phản mạnh với các hoạt động nghệ thuật.

* 'Con người không biết được cái gì tạo nên các định luật và xúc xích là điều tốt. Nếu không người ta không thể ngủ ngon vào ban đêm.' Otto von Bismarck (b. 1815 Schönhausen, d. 1898 Friedrichsruh) là Thủ tướng nước Phổ.
** 'Một bức tranh hợp lý về các sự kiện là một tư tưởng.'

Nếu ta có thể dùng hai khái niệm vật lý khác nhau để mô tả cùng một hiện tượng thì chúng phải tương đương mặc dù ta chưa nhận thấy ngay mối liên hệ dẫn tới sự tương đương này. Đúng ra nếu ta yêu cầu những người có quan điểm khác nhau, quan sát cùng một hiện tượng rồi suy ra những mô tả tương đương thì sẽ sai ngay từ mức cơ bản nhất của vật lý, vì như vậy tức là điều quan sát được phụ thuộc vào quan sát viên. Tóm lại, yêu cầu độc lập về mặt quan điểm đã khiến cho sự tự do lựa chọn khái niệm trở thành một việc không thể xảy ra về mặt luận lý.

Việc kết luận rằng khái niệm mô tả các hiện tượng, được khám phá chứ không được tạo ra, cũng đã được tìm thấy trong lĩnh vực Ngôn ngữ học, * trong lĩnh vực Tâm lý học nhờ sự quan sát về sự hình thành các khái niệm trong sự phát triển của trẻ em và trong lĩnh vực Phong tục học nhờ sự quan sát về sự phát triển của động vật, đặc biệt là động vật hữu nhũ. Trong cả 3 lĩnh vực, các quan sát chi tiết đã được thực hiện bằng các tương tác giữa cá nhân và môi trường để dẫn tới các khái niệm, trong đó các yếu tố cơ bản nhất như không gian, thời gian, đối tượng, tương tác, là chung cho mọi giới tính, mọi nền văn hoá, mọi sắc tộc và mọi loài động vật sống trên thế giới. Thế giới chỉ cung cấp một khả năng, không có chỗ cho sự tưởng tượng. Việc tưởng tượng rằng các khái niệm vật lý có thể được tạo ra theo sở thích là một sự tin tưởng sai lầm – hay là một bài tập hữu ích – nhưng không bao giờ làm được.

Khái niệm vật lý là sự phân loại các hiện tượng. Hoạt động phân loại tự nó đã đi theo các kiểu thức của thiên nhiên; nó là một quá trình cơ học mà máy móc cũng có thể thực hiện được. Điều này có nghĩa: sự phân biệt là một mệnh đề không mang tính lý thuyết. Không cần một hệ thống niềm tin để phân biệt các thực thể khác nhau trong thiên nhiên. Mèo và heo cũng có thể làm được điều đó. Các nhà vật lý *có thể* bị động vật hay ngay cả máy móc thay thế.

Như ta đã đề cập, các khái niệm vật lý phổ biến nhất cho phép ta mô tả các hiện tượng một cách cô đọng và chính xác nhất. Chúng được tạo ra với mục đích tạo ra khả năng hiểu nhiều nhất với sự nỗ lực ít nhất. Cả dao cạo của Occam – yêu cầu không đưa ra các
Quyển VI, trang 129
khái niệm không cần thiết – và việc tìm kiếm sự thống nhất một cách tự động đã làm giảm số lượng và loại khái niệm được sử dụng trong Vật lý. Nói cách khác, sự tiến bộ của Vật lý đã và đang đặt nền tảng trên một chương trình làm giảm mạnh số lựa chọn các khái niệm.

Tóm lại, các khái niệm vật lý thì giống nhau đối với mọi người, không phụ thuộc vào niềm tin hay sự lựa chọn cá nhân, và rất *nhạt nhẽo*: chúng luôn đúng và chính xác. Ngoài ra, vì chúng có thể xuất phát từ máy móc thay vì con người nên các khái niệm *được sinh ra từ sự lười biếng*: chúng hết sức hiệu quả. Những sự tương đồng với con người này khẳng định rằng các khái niệm vật lý *không được* tạo ra; chúng được khám phá. Nếu một giáo viên nói với bạn điều ngược lại thì họ đang nói xạo.

Sau khi đã giải quyết vấn đề khái niệm vật lý ta hãy quay lại các mệnh đề vật lý. Tình trạng cũng có điều gì đó tương tự: các mệnh đề vật lý phải *đúng*, *nhạt nhẽo*, *lười biếng* và *tự phụ*. Ta hãy tìm hiểu lý do của việc này.

* Anna Wierzbicka kết luận rằng công trình nghiên cứu của mình đã chỉ rõ các căn tố ngữ nghĩa được *khám phá*, đặc biệt được suy ra từ các kinh nghiệm cơ bản của con người chứ không phải được phát minh.
Xem 246

BẢNG 24 'Phương pháp khoa học'.

Mô tả thông thường **Sự hiếu kỳ**	Mô tả theo kiểu vận động hành lang **Phương pháp khoa học**
1. nhìn quanh nhiều	1. tương tác với thế giới
2. không tin bất cứ điều gì được kể lại	2. bỏ qua các mệnh đề không chứng minh
3. chọn điều thú vị và tự tìm hiểu	3. quan sát và đo đạc
4. tự quyết định và mô tả chính xác những gì nhìn thấy	4. sử dụng lý luận, xây dựng giả thuyết
5. kiểm tra xem ta có thể mô tả các tình trạng giống nhau theo cùng một cách hay không	5. phân tích giả thuyết
6. tăng độ chính xác của các quan sát cho đến khi thất bại hay hoàn thành nó	6. thực hiện các thí nghiệm để kiểm tra giả thuyết
7. tuỳ theo trường hợp mà tiếp tục bước 4 hay 1	7. yêu cầu người có thẩm quyền cấp thêm tài chính

> “Wo der Glaube anfängt, hört die Wissenschaft auf.*”
> Ernst Haeckel, *Natürliche Schöpfungsgeschichte*, 1879.

Chúng ta đã tìm ra các khái niệm, kiểu thức và quy luật vật lý như thế nào?

> “Grau, theurer Freund, ist alle Theorie,
> Und grün des Lebens goldner Baum.**”
> J.W. v. Goethe, *Faust*.

> “Vật lý thường được trình bày như một khoa học khách quan nhưng tôi nhận thấy rằng Vật lý thay đổi trong khi thế giới thì y nguyên, vì vậy phải có sự chủ quan trong Vật lý.”
> Richard Bandler

Sự tiến bộ thông qua việc tìm hiểu chuyển động phản ánh thái độ của trẻ em đối với cuộc sống: trẻ em bị sự hiếu kỳ chi phối. Sự tiến bộ đi theo chương trình đơn giản ở bên trái của Bảng 24. Khoa học gia trưởng thành cũng hành động tương tự ngoại trừ việc họ sử dụng nhiều thuật ngữ thời thượng được cho ở bên phải của bảng. Người trưởng thành cũng có nghề nghiệp chuyên biệt để kiếm tiền từ sự hiếu kỳ của họ. Các chuyên gia của bước 7, người yêu cầu thêm tài chính, được gọi theo kiểu khác là *các nhà vận động hành lang* hay *những người gây quỹ*; thay vì gọi chương trình này là *sự hiếu kỳ*, họ gọi nó là *phương pháp khoa học*.

Vật lý là nói về chuyển động,*** và chuyển động là một chủ đề rộng lớn, có nhiều điều

* 'Nơi niềm tin bắt đầu là chỗ khoa học kết thúc.'
** 'Bạn thân mến, mọi lý thuyết đều là màu xám chỉ có cây đời mãi mãi tươi xanh.' Johann Wolfgang von Goethe (b. 1749 Frankfurt am Main, d. 1832 Weimar), thi sĩ Đức nổi tiếng.
*** Nhiều khoa học có từ 'nói' trong tên của nó, cụ thể là mọi môn học đều kết thúc bằng '-logy', thí dụ như

cần khám phá và kể lại. Các chuyên viên của bước 6, người kiểm tra giả thuyết, được gọi là các *nhà vật lý thực nghiệm* hay đơn giản là *các nhà thực nghiệm*, thuật ngữ phái sinh từ tiếng Latin 'experiri', nghĩa là 'thử tất cả'. Phần lớn họ thuộc nhóm 'sinh viên tốt nghiệp'. Chuyên gia của bước 5 và 4 là những người phân tích giả thuyết, được gọi là các *nhà vật lý lý thuyết* hay đơn giản là các *lý thuyết gia*.* Đây là một thuật ngữ khá hiện đại; những giáo sư Vật lý lý thuyết đầu tiên được bổ nhiệm khoảng đầu thế kỷ 20. Thuật ngữ 'lý thuyết' phái sinh từ tiếng Hy Lạp θεωρία có nghĩa là 'quan sát, thưởng ngoạn'. Sau cùng, có những người tập trung vào các bước 1 tới 4 và những người xui khiến những người khác làm việc ở bước 5 và 6; họ được gọi là những *thiên tài*. Thiên tài là những người đưa ra các khái niệm trợ giúp cho việc mô tả thiên nhiên.

Hiển nhiên là còn một điểm quan trọng giấu mình ở bước 6: làm cách nào để những người này biết được là việc kiểm tra của họ có thất bại hay không, một khái niệm có áp dụng được cho thiên nhiên hay không? Làm thế nào để họ nhận ra chân lý?

> Mọi nghề nghiệp đều là các âm mưu chống lại những người không chuyên môn.
> George Bernard Shaw

Nói xạo là gì?

> Hãy nắm được sự thật rồi nói điều gì bạn muốn.
> Mark Twain

Trong phần lớn các quốc gia, mọi người đều biết 'sự thật' là gì, vì trong pháp đình nói không thật sẽ bị kết án tù. Và toà án thì đầy các chuyên viên phát hiện nói dối. **

Tại toà án, một *lời nói dối* là một phát biểu mâu thuẫn có chủ ý đối với điều quan sát được.*** Như vậy tính chân trị của một mệnh đề được kiểm chứng bằng quan sát. Việc kiểm chứng đôi khi được gọi là *chứng minh* một mệnh đề. Đối với toà án và Vật lý, ta có

▷ ***Đúng*** là phù hợp với sự thật.

▷ ***Sự thật*** là các quan sát được người khác hay máy móc tán đồng.

Do đó, cũng trong khoa học, ta có

---

biology. Hậu tố này có gốc từ tiếng Hy Lạp cổ λήγηιν nghĩa là 'nói'. Vật lý là khoa học về chuyển động cũng có thể được gọi là 'kinesiology' – từ κίνησις có nghĩa là 'chuyển động'; nhưng vì những lý do có tính lịch sử, thuật ngữ này có nghĩa khác là 'nghiên cứu về hoạt động của cơ bắp của con người' – rủi thay cũng toàn là những điều nhảm nhí. Thuật ngữ 'Vật lý' có thể phái sinh từ φύσικη (τέχνη là hiểu) có nghĩa là '(nghệ thuật của) thiên nhiên', hoặc là từ tên tác phẩm của Aristote τά φυσικά có nghĩa là 'sự vật thiên nhiên'. Cả hai đều phái sinh từ φύσις, có nghĩa là 'thiên nhiên'.

* Nếu bạn thích Vật lý lý thuyết, hãy xem trang web vô tư, tươi tắn của người đoạt giải Nobel Gerard 't Hooft có tựa đề *Làm thế nào để trở thành một nhà Vật lý lý thuyết tài ba*. Địa chỉ của nó là www.phys.uu.nl/~thooft/theorist.html.

** Nhiều học giả đã bỏ nhiều thời gian nghiên cứu về lời nói xạo và sự ba xạo. Một người nổi tiếng là Paul Ekman, người có một website hấp dẫn tại www.paulekman.com chỉ cách phát hiện nói dối qua thái độ của người nói.

*** Phát biểu chưa được kiểm chứng bằng sự quan sát được gọi là *sự suy đoán*, *điều giả định*, *giả thuyết*, hay – một cách sai lầm – đơn giản là *luận điểm*. Phát biểu phù hợp với sự quan sát được gọi là *đúng* hay *true*; phát biểu mâu thuẫn với sự quan sát được gọi là *sai* hay *false*.

▷ Một ***phát biểu sai*** là một phát biểu mâu thuẫn với sự thật.

Trừ lúc ở toà án, lời nói xạo là các phát biểu vui nhộn vì ta có thể rút ra từ chúng *mọi kết luận có thể tưởng tượng được*. Một cuộc bàn luận giữa 2 giáo sư Cambridge vào đầu thế kỷ 20 đã nói đến vấn đề này. McTaggart hỏi: 'Nếu 2 + 2 = 5, làm thế nào bạn có thể chứng minh tôi là đức giáo hoàng?' Godfrey Hardy: 'Nếu 2 + 2 = 5, thì 4 = 5; trừ 3; thì ta có 1 = 2; nhưng McTaggart và đức giáo hoàng là 2; do đó McTaggart và đức giáo hoàng là một.' Như ta đã nhận xét trước kia, *ex falso quodlibet*; từ điều sai ta có thể suy ra mọi điều. Do đó, chúng ta cần xây dựng dựa trên các kết quả đã suy ra trước kia, nếu không cuộc hành trình không thể hoàn thành nếu có một phát biểu sai ở đâu đó trong chuỗi lý luận của chúng ta.

Tuy vậy, nói xạo là một hoạt động quan trọng mà người ta nên học hỏi – học để biết cách tìm ra nó ở những người khác. Nghệ thuật nói xạo có 3 cấp: động vật, trẻ em và người lớn. Nhiều động vật đã chứng tỏ rằng chúng có thể đánh lừa gia đình của chúng. Trẻ em bắt đầu nói xạo chỉ trước khi lên 3 bằng cách che giấu các trải nghiệm. Các nghiên cứu về tâm lý đã chứng tỏ rằng trẻ em không có khả năng nói xạo thì không thể hoàn thành việc phát triển nhân cách để trở thành một người khoẻ mạnh.

Xem 212

Một lời nói xạo tốt là gì?

> “Sự thật thuần tuý luôn luôn là một lời nói dối.”
> Bert Hellinger

Vì một lời nói xạo là một phát biểu mâu thuẫn với sự thật, một lời nói xạo *tốt* là một lời nói xạo mà sự mâu thuẫn khó phát hiện. Trái lại, một lời nói xạo *thành công* là một phát biểu giúp bạn kiếm ra tiền. Ta không tìm hiểu nó ở đây.

Cách đầu tiên chỉ cần sự tán đồng. Những người theo phái dân tuý và các nhà luận chiến thường sử dụng cách này. ('Mỗi người nước ngoài là một mối hiểm nguy cho đất nước chúng ta.') Vì hầu như mọi ý kiến, tuy kỳ quặc, nhưng được nhiều nhóm ủng hộ thì người ta luôn cho nó là đúng.* Điều không may và rõ ràng là những tư tưởng này cũng được tán đồng vì chúng mang tính thời thượng, tấn công hay chống đối nhắm vào người bị ganh ghét. Thường các anh chị em trong một gia đình hay rơi vào trường hợp này – hãy nhớ tới Cassandra.** Đối với một lời nói xạo tốt ta cần sự chia sẻ hơn là *sự công nhận tập thể*.

Một lời nói xạo tốt cũng giống như một lời nói thật, thực sự độc lập với người nghe, quan sát viên và đặc biệt độc lập với tuổi tác, giới tính, trình độ học vấn, văn minh hay phe nhóm. Nói xạo bằng Toán là một điều khó – nhưng không phải là không thể. Lý do: các khái niệm cơ bản của Toán học, 'tập hợp', 'quan hệ' hay 'số', được ghi nhận từ sự

* Tác phẩm của nhà xã hội học Gabriel Tarde (b. 1843 Sarlat, d. 1903 Paris), đặc biệt khái niệm của ông về *sự bắt chước* và ý kiến tập thể, đã liên hệ với sự kiện này.
** Mối liên quan giữa thứ tự ra đời với sự sáng tạo trong khoa học và sự công nhận các ý tưởng mới đã được nghiên cứu trong quyển sách hấp dẫn của Frank J. Sulloway, *Born to Rebel – Birth Order, Family Dynamics and Creative Lives*, Panthon Books, 1996. Quyển sách khác thường này đã kể lại kết quả nghiên cứu lâu dài liên quan tới hoàn cảnh cá nhân của các gia đình của hàng ngàn người và sự tiếp nhận về 20 cuộc cách mạng trong lịch sử cận đại. Quyển sách cũng có một bài trắc nghiệm để người đọc có thể tìm ra thiên hướng của họ về sự nổi loạn với thang đo từ 0 tới 100 %. Darwin đạt được 96 % trên thang đo này.

quan sát và được công nhận tập thể, nên các mệnh đề Toán học rất dễ kiểm chứng. Do đó trong Toán học không có lời nói xạo tốt.*

Điều thứ 3, một lời nói xạo tốt nên tránh phát biểu về các hiện tượng và thay bằng *sự diễn giải*. Thí dụ như một người muốn nói về các vũ trụ khác, là hàm ý nói về các ảo tưởng chứ không phải về các hiện tượng. Tuy vậy một lời nói xạo tốt phải tránh các phát biểu vô nghĩa; nhận xét tai hại nhất là một phát biểu của nhà vật lý vĩ đại Wolfgang Pauli: 'Đó cũng không hẳn là sai.'

Quyển IV, trang 105

Điều thứ 4, một lời nói xạo tốt không nói về hiện tượng mà tập trung vào sự tưởng tượng. Chỉ có chân lý mới cần có *tính thực nghiệm*; các phát biểu *có tính suy đoán* khác với chân lý ở chỗ không quan tâm tới thí nghiệm. Nếu bạn muốn nói xạo 'ngon lành' ngay cả với các phát biểu có tính thực nghiệm, bạn cần cẩn thận. Có 2 loại mệnh đề thực nghiệm: các mệnh đề *đặc biệt* và các mệnh đề *phổ quát*. Thí dụ như 'Vào ngày 2/6/1960 tôi thấy một con thiên nga lục bơi ở phía bắc bờ hồ Varese' là mệnh đề đặc biệt, trong khi 'Mọi con quạ đều màu đen' là mệnh đề phổ quát vì nó chứa từ 'tất cả'. Có một sự khác biệt nổi tiếng giữa 2 điều này và khá quan trọng khi muốn nói xạo ngon lành:

- ▷ Mệnh đề đặc biệt không thể bị xuyên tạc, ta chỉ có thể kiểm chứng chúng.
- ▷ Mệnh đề phổ quát không thể kiểm chứng được, ta chỉ có thể xuyên tạc chúng.

Xem 266

Ta hãy tìm hiểu lý do.

Mệnh đề phổ quát, như 'tốc độ ánh sáng là hằng số', không thể kiểm chứng trong *mọi* trường hợp. (Ta nên nhớ rằng nếu có thể, chúng không phải là mệnh đề phổ quát mà chỉ là một danh sách các mệnh đề đặc biệt.) Tuy vậy, chúng có thể bị đảo ngược bằng một phản thí dụ. Một thí dụ khác về kiểu phổ quát là: 'Táo rơi lên trời.' Vì nó sai với sự quan sát của Newton cách nay nhiều thế kỷ hay với kinh nghiệm hằng ngày, nó được xem là một lời nói xạo (bị phát hiện một cách dễ dàng). Nhìn chung, nói xạo bằng cách phát biểu điều trái ngược với lý thuyết thường không thành công. Nếu có người cứ khăng khăng làm như vậy, lời nói xạo trở thành *sự mê tín*, một *niềm tin*, một *thành kiến* hay một *học thuyết*. Đây là trình độ thấp trong nghệ thuật nói xạo. Một trường hợp ba xạo nổi tiếng là đồng nghiệp của Galilei, người đã từ chối nhìn qua kính thiên văn để tin rằng Mộc tinh có vệ tinh, một quan sát sẽ làm lung lay niềm tin mọi vật quay quanh Trái đất. Dĩ nhiên thiên văn gia này là một tay tài tử trong nghệ thuật nói xạo. Một lời nói xạo phổ quát tốt là lời nói xạo có một phản thí dụ không dễ nhận ra như vậy.

Nói xạo bằng các mệnh đề đặc biệt thay vì mệnh đề phổ quát thì dễ hơn nhiều. ('Tôi không thể nhớ.') Ngay cả các mệnh đề đặc biệt như 'hôm qua Mặt trăng màu lục, vuông và có mùi phô mai' cũng không dễ bị xuyên tạc: không có cách chứng tỏ điều này sai. Điều duy nhất mà ta có thể làm là kiểm tra xem mệnh đề có tương thích với các hiện tượng khác hay không, thí dụ như hình dạng khác có ảnh hưởng đến thuỷ triều không, có ngửi thấy mùi như vậy trong ngày hôm đó hay không ... Một lời nói xạo đặc biệt *tốt* sẽ không mâu thuẫn rõ ràng với các hiện tượng khác.**

* Trong Toán học, 'đúng' thường được xem như là 'có thể suy ra được' hay 'chứng minh được'; đây đúng ra là một trường hợp đặc biệt của định nghĩa thông thường về chân lý, tức là 'tương ứng với sự thật', nếu ta nhớ rằng Toán học nghiên cứu các tính chất của sự phân loại.

** Việc kiểm chứng các mệnh đề liên quan tới quá khứ là một điều khó khăn và buồn chán, và sự khó khăn

Tình cờ là các mệnh đề phổ quát và đặc biệt có liên quan với nhau: *phủ định* của mệnh đề phổ quát luôn luôn là mệnh đề đặc biệt và ngược lại. Thí dụ như mệnh đề phủ định của 'táo rơi lên trời' là 'một số táo rơi xuống' là đặc biệt. Tương tự, mệnh đề đặc biệt 'Mặt trăng làm bằng phô mai lục' là phủ định của mệnh đề phổ quát 'Mặt trăng là thể rắn trong hàng triệu năm và hầu như không mùi, không khí quyển.'

Nói cách khác, pháp đình và triết gia không đồng ý với nhau. Pháp đình không có vấn đề với việc gọi các lý thuyết là đúng và các mệnh đề đặc biệt là sai. Nhiều triết gia né tránh điều này. Thí dụ mệnh đề 'không có động vật có xương sống ở thể khí, xấu tính' là một mệnh đề phổ quát. Nếu một mệnh đề phổ quát phù hợp với sự quan sát và nếu nó có thể bị xuyên tạc, pháp đình gọi nó là *đúng*. Ngược lại là mệnh đề: 'có động vật có xương sống ở thể khí, xấu tính', thuộc loại *đặc biệt*, vì nó có nghĩa là 'Người ta đã thấy một nhân vật X là một động vật có xương sống ở thể khí, xấu tính, ở chỗ Y lúc Z.' Để kiểm chứng điều này ta cần một mẫu tin của sự kiện. Nếu một mẫu tin như vậy, thí dụ như không có một tấm ảnh hay một bằng chứng như vậy và nếu mệnh đề này *có thể* bị các quan sát khác chứng minh là sai, pháp đình gọi mệnh đề đặc biệt này là một *lời nói dối*. Mặc dù đây là những quy luật đối với đời sống hằng ngày và luật pháp, vẫn không có sự đồng ý giữa triết gia và khoa học gia. Tại sao? Các trí giả rất thận trọng vì nhiều người đã mất mạng vì các lời nói xạo quá thẳng thắn.

Tóm lại, các lời nói xạo đặc biệt chắc chắn không bao giờ bị xuyên tạc. Đây là điều làm cho chúng trở nên phổ biến. Trẻ con học các lời nói xạo đặc biệt đầu tiên. ('Tôi không bao giờ ăn mứt.') Những lời nói xạo tổng quát luôn luôn có thể chứng thực bằng các thí dụ. Đây là lý do thành công của các ý thức hệ. Việc sử dụng các phát biểu như 'sự thật khoa học' – không có các sự thật phi khoa học – hay 'được chứng minh một cách khoa học' – không thể chứng minh hiện tượng – và các đoạn văn tương tự đã trở thành thời thượng. Đây không phải là các lời nói xạo 'tốt'; khi ta gặp một câu bắt đầu với 'khoa học nói rằng ...' hay 'khoa học và tôn giáo đã thực hiện' ... ta chỉ cần thay thế 'khoa học' bằng 'kiến thức' hay 'kinh nghiệm' để kiểm tra các câu như vậy có nghiêm túc hay không.*

Lời nói xạo khác với mệnh đề đúng về phương diện tình cảm. Mệnh đề đặc biệt thường chán ngắt và yếu ớt trong khi lời nói dối đặc biệt thường giật gân và quá khích. Trái lại, mệnh đề tổng quát thường táo bạo và yếu ớt trong khi lời nói xạo tổng quát thường chán ngắt và quá khích. Chân lý thì yếu ớt. Mệnh đề đúng đòi hỏi tác giả mạo hiểm với dư luận. Các nhà nghiên cứu biết rằng không mạo hiểm sẽ không có lý thuyết.

---

tăng lên theo thời gian. Đó là lý do tại sao người ta chỉ có thể khẳng định sự xuất hiện của những biến cố được xem là ngoại lệ của các kiểu thức của thiên nhiên ('tức là các điều kỳ diệu'). Nhờ các phương tiện truyền thông nhanh nhạy, việc kiểm chứng trở nên dễ dàng hơn và điều kỳ diệu đã không còn. Điều này có thể thấy ở Lourdes, France, nơi mà hiện nay số du khách nhiều hơn trong quá khứ, đã không còn điều kỳ diệu trong nhiều thập niên. (Đúng ra có một ngoại lệ có nhiều nhân chứng. Năm 1998, một người ngồi xe lăn được đẩy vào nơi có nước thánh. Khi trở ra thì kỳ diệu thay, bánh xe lăn đã có vỏ mới.)

Thật ra điều kỳ diệu còn tồn tại chỉ nhờ cố ý né tránh sự kiểm chứng, như sự hoá lỏng của máu ở Napoli, Xem 267 tượng ở các đền thờ uống sữa, thầy lang trong các chương trình truyền bá phúc âm trên TV v.v... Vẫn còn nhiều điều kỳ diệu vì nhiều tổ chức đã làm ra tiền từ sự xuyên tạc các mệnh đề đặc biệt. Thí dụ như khi công nương Diana mất trong một tai nạn xe hơi năm 1997, mặc dù biến cố đã được điều tra kỹ lưỡng, dư luận ồn ào vẫn tiếp diễn không ngừng về 'các điều bí ẩn' của tai nạn.

* Để minh giải việc sử dụng ngữ vựng của phần này: *tôn giáo* là duy linh cộng thêm mức độ thay đổi của niềm tin và sự lạm dụng sức mạnh. Sự hoà trộn này phụ thuộc tiểu sử, gia cảnh và môi trường của từng người. *Duy linh* là sự hoà mình với thiên nhiên. Phần lớn, có thể là tất cả, người có niềm đam mê Vật lý đều duy linh. Phần lớn không có tôn giáo.

(Một *lý thuyết* là một cái tên khác dành cho nhiều mệnh đề phổ quát về các thí nghiệm có liên quan và chưa bị xuyên tạc.)* Nói lên sự thật thì dễ bị công kích. Vì lý do này lý thuyết thường *táo bạo*, *kiêu căng* hay *khó chịu*; đồng thời chúng lại *yếu ớt* và *dễ bị tổn thương*. Đối với nhiều người, lý thuyết giống như những điều họ nghĩ về phụ nữ. *Nguồn gốc các loài* của Darwin minh hoạ cho sự mâu thuẫn gay gắt giữa những sự thật chán ngán nhưng vững vàng mà Darwin thu thập được và lý thuyết mỏng manh mà ông đã tìm ra. Sự buồn tẻ của sự thật là dấu hiệu của chân lý.

Ngược lại, các tay săn phù thuỷ tuyên truyền cho 'sáng tạo luận' hay còn gọi là 'thiết kế thông minh' là thí dụ về những kẻ dối trá. Những lời nói xạo mà họ phổ biến như 'thế giới được sáng tạo vào tháng 10/4004 BCE', là tin giật gân trong khi các lời nói xạo tổng quát của họ như 'không có thay đổi lớn trong quá khứ' thì lại tẻ nhạt. Điều này hoàn toàn mâu thuẫn với sự suy nghĩ thông thường. Ngoài ra nói xạo mâu thuẫn với các phát biểu đúng, làm cho người ta trở nên hung bạo. Sự dối trá càng tệ hại, con người càng hung hãn. Mối liên hệ này thường thấy trên báo chí. Nói cách khác, 'sáng tạo luận' và 'thiết kế thông minh' không chỉ là những lời nói xạo mà còn là những lời nói xạo tệ hại. Một *lời nói xạo tổng quát* 'tốt' giống như một lý thuyết vật lý có ích, mang theo sự điên rồ và dễ bị tổn thương, thí dụ như 'con người có ý chí tự do'. Một *lời nói xạo đặc biệt* 'tốt' thì tẻ nhạt, thí dụ như 'cái này trông giống như bánh mì nhưng trong 10 phút nữa thì không'. Lời nói xạo tốt không tạo ra bạo lực. Như vậy cảm giác có thể là tiêu chuẩn để đánh giá lời nói xạo nếu ta chú ý tới loại phát biểu.

Một phương diện quan trọng của một lời nói xạo 'tốt' là hạn chế tối đa sự phát biểu *công khai* để các nhà phê bình đỡ phải kiểm tra. Đối với những người đóng góp sửa sai cho sách này, tôi sẽ có món quà nhỏ. Để phát hiện sự ba xạo, sự giám sát của công luận là quan trọng, mặc dù không phải lúc nào nó cũng đáng tin. Đôi khi ngay cả các khoa học gia cũng phát biểu mà không dựa trên thí nghiệm. Tuy vậy, một lời nói xạo tốt luôn được chuẩn bị kỹ càng và có mục đích; lời nói xạo do vô tình làm cho các chuyên gia khó chịu. Thí dụ về lời nói dối tốt trong khoa học là 'aether', 'UFO', 'khoa học sáng tạo' hay 'dung hợp hạt nhân lạnh'. Đôi khi phải mất nhiều thập niên để phát hiện sự ba xạo trong các lĩnh vực này.

Tóm lại, những điểm chính yếu của nghệ thuật nói xạo mà không bị tóm là: không tiết lộ chi tiết và cho phép một số người kiếm tiền bằng lời nói xạo của bạn. Hãy *mơ hồ*. Mọi phương pháp được sử dụng để kiểm chứng một phát biểu phải cần nhiều chi tiết và *chính xác*. Đối với một phát biểu, độ chính xác của nó cho phép người ta đo lường mức độ mạo hiểm của tác giả. Càng đòi hỏi sự chính xác, phát biểu càng yếu và gần như người ta sẽ tìm ra lỗi nếu có. Đây là lý do chính mà ta chọn sự gia tăng trong độ chính xác làm kim chỉ nam cho cuộc hành trình lên đỉnh: ta không muốn nói xạo hoàn toàn. Cũng cần nói thêm là trong các vụ án hình sự người ta cũng sử dụng phương pháp tương

* Nói cách khác, một tập hợp các kiểu thức của các thí nghiệm trong cùng một chủ đề chưa bị xuyên tạc, được gọi là *lý thuyết (vật lý)*. Thuật ngữ 'lý thuyết' sẽ luôn luôn được sử dụng theo nghĩa này, tức là 'tập hợp các mệnh đề tổng quát đúng'. Từ này sử dụng nghĩa gốc của tiếng Hy Lạp: 'theoria' nghĩa là 'sự quan sát'; nghĩa gốc của nó, 'sự chiêm nghiệm dứt khoát và đam mê', tóm tắt Vật lý trong 1 từ. ('Lý thuyết', giống như 'sân khấu', được tạo thành từ ngữ căn θέ, nghĩa là 'chiêm nghiệm'.) Tuy vậy có lúc thuật ngữ 'lý thuyết' được sử dụng – bị nhầm với 'giả thuyết' – với ý nghĩa là 'giả định', như trong 'giả định của anh là sai', có lúc lại có nghĩa là 'mô hình', như trong mô hình 'Chern–Simons' và có lúc lại có nghĩa là 'phương pháp tiêu chuẩn', như trong 'phương pháp nhiễu loạn'. Ta cần tránh những cách dùng sai này. Tóm lại: *Thuyết tiến hoá* không phải là một giả định mà là một tập hợp các mệnh đề đúng dựa trên sự quan sát.

tự. Để tìm ra sự thật, những người điều tra thường hỏi các nhân chứng thật nhiều câu hỏi, để làm rõ thật nhiều *chi tiết*. Khi đã thu thập đầy đủ chứng cớ và độ chính xác đủ cao, tình hình sẽ trở nên rõ ràng. Nói nhiều lời nói xạo tốt thì khó hơn nói thật rất nhiều; nó cần sự tưởng tượng tuyệt hảo.

> Chân lý là một vực thẳm.
> Democritus

> Dạy những điều mê tín như sự thật là một điều kinh khủng nhất.
> Hypatia of Alexandria (*c.* 355–415)

> [Chân lý tuyệt đối:] Là điều mà các khoa học gia nói khi công việc của họ kết thúc.
> Charles Peirce

Xem 268

Mệnh đề này có đúng không? – Bàn một chút về sự vô nghĩa

> Có 3 loại người: người tin vào ông già Noel, người không tin và người là ông già Noel.
> Vô danh

> Chân lý là một khái niệm hoa mỹ.
> Paul Feyerabend

Phát biểu của Feyerabend vô nghĩa. Mọi người đều có thể nhận ra điều này. Sau đây là cách phát hiện.

Không phải mọi phát biểu đều được phân thành hai loại đúng hay sai. Còn một tuỳ chọn thứ 3: những phát biểu *vô nghĩa*. Trong Toán học cũng có những phát biểu như vậy và được gọi là *không giải được*. Thật vậy,

▷ 'Không giải được' đồng nghĩa với 'vô nghĩa'. (107)

Một thí dụ là giả thuyết continuum. Giả thuyết này không giải được vì nó tạo nên một phát biểu phụ thuộc vào ý nghĩa chính xác của từ 'tập hợp'. Trong cách sử dụng tiêu chuẩn của toán học, thuật ngữ 'tập hợp' không được xác định với độ chính xác đầy đủ, do đó ta không thể gán cho giả thuyết này một chân trị. Tóm lại, các mệnh đề này không giải được nên chúng vô nghĩa vì các khái niệm mà chúng chứa đựng không được xác định một cách rõ ràng.

Mệnh đề cũng có thể không giải được vì lý do khác. Thí dụ như ngữ đoạn 'Mệnh đề này không đúng' là một trường hợp. Ngữ đoạn này không giải được vì nó tham chiếu vào chính nó. Ngay cả Kurt Gödel* cũng đã nghĩ ra một phương thức tổng quát để xây dựng các mệnh đề không giải được như vậy trong lĩnh vực Luận lý và Toán học. Biến thể khác nhau của các phát biểu *tự tham chiếu* này, đặc biệt phổ biến trong cả hai lĩnh vực luận lý và điện toán, đã thu hút sự quan tâm lớn lao của cộng đồng.** Người ta có thể

* Kurt Gödel (b. 1906 Brünn, d. 1978 Princeton), nhà luận lý học lừng danh.

** Một giới thiệu tổng quát nằm trong các cuốn sách thú vị của Raymond Smullyan: *Satan, Cantor and Infinity and Other Mind-boggling Puzzles*, Knopf, 1992; *What is the Name of This Book? The Riddle of Dracula and Other Logical Puzzles*, Touchstone, 1986, and *The Lady or the Tiger? And Other Puzzles*, Times Books, 1982. Cũng có những định nghĩa chưa được đồng ý lắm như 'số nhỏ nhất chưa được đề cập trong

xây dựng những mệnh đề không giải được bằng các thuật ngữ như 'tính được', 'chứng minh được' và 'suy diễn được'.

Xem 269

Đúng ra mệnh đề tự tham chiếu thì không giải được vì chúng vô nghĩa. Nếu 'true' (theo nghĩa thông thường là sự thật) được thay vào thì câu trên trở thành 'Mệnh đề này không sự thật' ta sẽ thấy ngay nội dung của nó vô nghĩa. Một câu vô nghĩa nổi tiếng do nhà ngôn ngữ học Noam Chomsky tạo ra là:

Một ý tưởng màu xanh lá cây không màu ngủ một cách mãnh liệt. (108)

Xem 220

Câu này thường được dùng làm thí dụ về các đặc điểm xử lý ngôn ngữ của não bộ, nhưng không có ai nâng nó lên đến tình trạng nghịch lý và viết những bàn luận triết học về nó. Làm việc đó chỉ phí năng lượng.

Việc tự tham chiếu còn thành công là do ta gặp khó khăn trong việc nhận thức được sự vô nghĩa.* Một thí dụ hay nữa là phát biểu:

Mệnh đề này sai hoặc bạn là một thiên thần. (109)

Ta có thể suy ra từ mệnh đề này 'Bạn là một thiên thần.' Bạn có thấy như vậy không? Nếu muốn, bạn có thể thay đổi nửa câu sau để được một phát biểu thú vị hơn. Những thí dụ như vậy chứng tỏ rằng ta phải bỏ qua các phát biểu tự tham chiếu. Tóm lại, khi bạn gặp một người cố gắng sử dụng kết cấu tự tham chiếu của Kurt Gödel để suy ra các mệnh đề khác, hãy lùi một bước hay tốt hơn là rút lui. Tự tham chiếu theo kiểu Gödel, là một con đường gian nan nhưng thông dụng để những trí thức gia nhiều tham vọng, suy nghĩ, nói và viết *những điều vô nghĩa*.

Câu đố 279 s

▷ Sự tự tham chiếu là một dạng của sự vô nghĩa.

Từ sự vô nghĩa ta không tìm ra điều gì có ích. Nó chỉ giúp cho ta gặp một bác sĩ tâm thần.**

Trong Vật lý, trong các khoa học tự nhiên khác và trong toà án ta không được sử dụng các phát biểu tự tham chiếu. Do đó không có vấn đề gì.*** Công trình nghiên cứu của các nhà luận lý học đã khẳng định một cách ngoạn mục là không thể mở rộng thuật ngữ 'đúng' ra ngoài định nghĩa 'tương đương với sự thật.'

---

thế kỷ này' của David Hilbert hay 'dãy số nhỏ nhất được mô tả bằng nhiều ký hiệu hơn câu này'.

* Một nạn nhân nổi tiếng của khó khăn này là Paulus of Tarsus. Nghịch lý của thi sĩ người đảo Crete *Epimenedes* (thế kỷ 6 BCE), người đã nói 'Mọi dân Crete đều nói dối', quá khó hiểu đối với đầu óc kém hài hước như Paulus, là người trong bức thư gởi cho Titus (chương 1, đoạn 12 và 13, trong Kinh thánh) đã gọi Epimenedes là một 'nhà tiên tri', kèm theo vài câu bình phẩm phân biệt chủng tộc và cho rằng 'bằng chứng' này là đúng. Nhưng khoan đã! Có một điều ngoắt ngoéo trong câu chuyện này. Phát biểu 'Mọi người Crete đều nói dối' *không phải là* một nghịch lý; ta có thể gán cho nó một chân trị vì phát biểu thực ra không tự tham chiếu. Bạn có thể khẳng định điều này không? Chỉ có một nghịch lý *tài tình* là 'Tôi đang nói dối' vì thực ra ta không thể gán cho nó một chân trị.

Xem 270
Câu đố 278 s

** Gödel cũng đã được đưa đi chữa trị.

*** Tại sao định nghĩa lòng vòng như trong Vật lý Galilei không phải là định nghĩa tự tham chiếu?

Câu đố 280 s

“Ein Satz kann unmöglich von sich selbst aussagen, daß er wahr ist.*”
Ludwig Wittgenstein, *Tractatus*, 4.442

Các câu đố vui và lạ về sự nói xạo và điều vô nghĩa

“Con người là nhân vật dễ bị lừa nhất, vì đối với những điều anh ta muốn là đúng thì anh ta thường tin nó là đúng.”
Xem 271
Demosthenes, 349 BCE.

“Quator vero sunt maxima comprehendendae veritatis offendicula, quae omnem quemcumque sapientem impediunt, et vix aliquem permittunt ad verum titulum sapientiae pervenire: videlicet fragilis et indignae auctoritatis exemplum, consuetudinis diurnitatis, vulgi sensus imperiti, et propriae ignorantiae occultatio cum ostentatione sapientiae apparentis.**”
Roger Bacon, *Opus majus*, 1267.

“Es ist ja nicht alles, was ich den Bürgern sage, gelogen.***”
Konrad Adenauer, 1962, West German Chancellor.

Một số lời nói xạo chỉ có mục đích giải trí và vui đùa – và tốt hơn nên gọi là nói đùa –, một số là dấu hiệu rối loạn tâm lý, một số có khuynh hướng phạm pháp. Một số phát biểu không phải là nói xạo mà chỉ là các lời vô nghĩa. Hãy giải trí bằng cách phân biệt chúng.

* *

Trong một buổi giảng đạo ở nhà thờ, một người đàn ông ngủ thiếp đi. Anh ta nằm mơ thấy cách mạng Pháp: anh bị mang tới máy chém. Lúc đó thì vợ anh nhận ra anh đang ngủ. Đúng lúc dao đang hạ xuống trong giấc mơ thì vợ anh gõ quạt vào cổ anh. Cú sốc
Câu đố 281 e
làm người này qua đời. Truyện này có thật không?

* *

Một lời ba xạo nổi tiếng: ‘Hôm qua tôi bị chết đuối.’

* *

Đầu thập niên 1990, *các vòng tròn thu hoạch* thường được những người đi cà kheo, với một mảnh gỗ và một số dây thừng, tạo ra. Tuy vậy, nhiều người giả vờ và ngay cả tin rằng các vòng tròn này do các sinh vật ngoài Trái đất tạo ra. Bạn có thể giải thích tại sao
Câu đố 282 s
điều này không thể xảy ra không?

* ‘Một mệnh đề hoàn toàn không thể phát biểu rằng nó là đúng.’
** ‘Có 4 chướng ngại vật đối với chân lý và kiến thức: không có thẩm quyền, tập quán, thành kiến và che đậy sự dốt nát trước các tri thức hiển nhiên.’
*** ‘Thật vậy, không phải mọi điều tôi nói với mọi người là nói dối.’

* *

Người ta thường nghe hay đọc thấy các phát biểu này: 'tinh thần (hay tâm hồn, linh hồn) mạnh hơn vật chất.' Hãy thận trọng đối với những người nói như vậy; anh ta muốn ở bạn một điều gì đó. Bạn có thể chứng tỏ rằng tất cả các mệnh đề như vậy luôn luôn sai
Câu đố 283 e hay không?

* *

Trong một số quốc gia, có 2 lời nói xạo thường gặp vào đầu thế kỷ 21. Một: không có sự ấm lên toàn cầu. Hai: sự ấm lên này không do con người gây ra. Đây là các lời nói xạo
Câu đố 284 s tốt hay xấu?

* *

Đôi khi ta nghe được rằng một người có da được che phủ hoàn toàn bằng bột kim loại mịn sẽ chết vì da không thở được. Bạn có thể chứng minh từ các quan sát riêng của mình
Câu đố 285 s là điều này sai không?

* *

Một sự pha trộn nổi tiếng giữa trò lừa đảo và các tiền đề là Trái đất được tạo ra cách nay 6000 năm. (Một số người tin điều này và sử dụng nó để chứng minh cho bạo lực dùng để chống lại những người không tin.) Bạn có thể chứng minh những người này sai
Câu đố 286 s không?

* *

Một sự khiêu khích nổi tiếng: thế giới đã được sáng tạo vào thứ 7 vừa rồi. Bạn có thể
Câu đố 287 s khẳng định là nó đúng hay sai không?

* *

Hàng trăm trò lừa đảo có thể tìm thấy trên website www.museumofhoaxes.com. Đó là một lời giới thiệu tuyệt hảo về nghệ thuật nói xạo; dĩ nhiên nó chỉ công bố cho những người đã bị lừa. Hãy thưởng thức các câu chuyện khoa học, đặc biệt về Khảo cổ học. Bạn có thể tìm thấy nhiều trang web tương tự trên internet.

* *

Trong thập niên 1990, nhiều 'thầy lang' ở Philippines đã kiếm được nhiều tiền nhờ việc đề nghị các bệnh nhân lấy các vật lạ trong cơ thể ra mà không phải phẫu thuật. Tại sao ta
Câu đố 288 e không thể làm được điều này? (Để có thêm thông tin lừa đảo về việc săn sóc sức khoẻ, hãy ghé thăm website www.quackwatch.com.)

* *

Câu đố 289 s Liệu pháp vi lượng đồng căn có phải là một trò lừa đảo không?

* *

'Hổ phách giúp ta chống lại sự đau răng.' 'Người bạn đời nên có cùng nhóm máu/cùng tuổi.' 'Mở dù trong nhà sẽ mang lại điều không may.' 'Số 8 mang lại may mắn.' Đây là các phát biểu vô nghĩa thường gặp trên thế giới.

* *

Từ thập niên 1980, có người cho rằng có thể kiếm được tin tức từ những người ở xa cả 1000 km mà không cần phương tiện truyền thông nào giữa 2 người. Tuy vậy, không có các 'trường tạo hình' giả định để thực hiện kỳ công này. Tại sao không có?

Câu đố 290 e

* *

Người ta cho rằng sở cứu hoả trong một thành phố ở Mỹ có một đèn tròn sáng liên tục từ năm 1901 (ít nhất đây là trường hợp tính đến năm 2005). Điều này có đúng không? Hàng trăm câu chuyện như vậy, thường được gọi là 'truyền thuyết đô thị,' có thể tìm thấy trên website www.snopes.com. Tuy vậy có một số không phải là truyền thuyết mà là sự thật như website đã chứng minh.

Câu đố 291 s

* *

Có một lời nói xạo phổ biến trong khoa học và trong kinh doanh là triển vọng không tốn năng lượng. Nguỵ biện này thường sử dụng Điện từ học. Mặt khác, Điện từ học lại dựa trên Thuyết tương đối và thường đủ sức chứng tỏ rằng các khẳng định trên là sai. Bạn hãy tự giải quyết khi gặp các trường hợp này.

Đối với những người cần ngân quỹ cho các thiết bị không cần năng lượng thì câu trả lời sẽ luôn luôn giống như câu trả lời trong thời Trung cổ cho các nhà giả kim thuật tìm ngân quỹ để chế ra vàng: nếu bạn đúng bạn sẽ tự kiếm được tiền.

* *

'Câu này đã được dịch từ tiếng Pháp sang tiếng Anh.' Câu này đúng, sai hay cả hai đều sai?

* *

Phi cơ không có hàng ghế số 13. Nhiều cao ốc không có tầng 13. Sự dối trá sau tập quán này là gì? Sự thật đằng sau nó là gì? Có lần tác giả đã yêu cầu một ca sĩ ở Napoli hát bài 'Fenesta che lucive,' một bài hát hay mà Enrico Caruso và nhiều ca sĩ khác đã từng trình diễn. Ca sĩ này từ chối, viện cớ khán giả địa phương sẽ bực bội bỏ về và chủ nhà hát sẽ phải rửa nhà bằng muối để xả xui. Nhiều điều mê tín đã có mặt trên khắp thế giới.

Câu đố 292 s

* *

Trong khoảng 1000 năm, nhiều người đã giả vờ là họ đã được chỉ định tức là họ đã mang những vết thương 'phi thường' giống như chúa Jesus khi bị hành hình. Làm cách nào để người ta có thể chứng minh, chỉ bằng một cái nhìn thoáng qua, rằng tất cả những người này, không có ngoại lệ, tự tạo ra vết thương cho chính mình?

Câu đố 293 s

* *

'Vào thời trung cổ và thượng cổ, người ta tin rằng Trái đất phẳng.' Đây là một lời nói xạo nổi tiếng mà không có người thắc mắc. Sử gia Reinhard Krüger đã chứng tỏ rằng lời nói xạo này chủ yếu là do các văn sĩ Thomas Paine (1794) và Washington Irving (1928). Đúng ra thì từ thời Aristotle, mọi người đều tin là Trái đất hình cầu.

* *

Thuật ngữ 'nhiều phiên bản,' một quan niệm trái ngược với 'vũ trụ,' là một lời nói xạo

Câu đố 294 s hay một điều tin tưởng?

* *

Điều sau đây không phải là lời nói xạo. Có một cách hay để làm cho trẻ em bớt tò mò được sử dụng ở nhiều nơi là để cho chúng xem TV khi chúng muốn. Hãy làm như vậy trong vài tuần, bạn sẽ không nhận ra con mình nữa. Nếu kéo dài vài năm sự tò mò sẽ không trở lại. Internet và smartphone cũng có tác dụng tương tự.

* *

Câu đố 295 e Làm cách nào để bạn chứng tỏ rằng 'Tia đất' là một lời nói xạo?

* *

Làm cách nào để bạn chứng tỏ rằng phát biểu 'các định luật thiên nhiên có thể thay đổi bất cứ lúc nào' là một lời nói xạo? Câu đố 296 s

* *

Câu đố 297 e 'Tôi có thể tạo ra năng lượng từ chân không.' Hãy chứng tỏ rằng đây là một lời nói xạo.

* *

'Không phải mọi vật hiện hữu đều có thể đo được.' 'Có những vật không thể đo được.' Chứng tỏ rằng các mệnh đề này là các lời nói xạo. Câu đố 298 e

* *

'Không phải người ta đã biết về mọi vật.' Mệnh đề này khá thú vị: thực ra Vật lý hiện đại cho thấy nhiều điều trái lại trong nhiều lĩnh vực. Thí dụ như người ta đã biết tất cả các dạng năng lượng; tức là biết tất cả các thực thể chuyển động. Tóm lại, mặc dù phát biểu này đúng – người ta chưa biết hết về mọi vật, đặc biệt là trong Y học – nó thường được những người ba xạo sử dụng. Hãy cẩn thận khi bạn nghe về nó; nếu một phát biểu không có bằng chứng thì nó do một kẻ lừa đảo tạo ra.

* *

Đây là một lời nói xạo sử dụng Toán học, từ một phóng viên: 'Kỳ thi đại học của bạn đối xử với thí sinh nữ tệ hơn nam; thống kê cho thấy rằng chỉ có 41 % nữ nhưng có đến 57 % nam sinh trúng tuyển.' Đại học này nhỏ chỉ có 2 khoa; vì vậy nó kiểm tra lại số liệu.

Khoa 1 nhận 60 % nam sinh (60/100 thí sinh) và 65 % nữ sinh (13/20 thí sinh). Khoa 2 nhận 30 % nam sinh (3/10 thí sinh) và 32 % nữ sinh (16/50 thí sinh).

Tổng cộng, đại học này thu nhận 63/110 nam thí sinh (hay 57 %) và 29/70 nữ thí sinh (hay 41 %). Nói cách khác, mặc dù trong mỗi khoa tỷ lệ nữ được nhận *cao hơn*, tỷ lệ trúng tuyển *tổng cộng* đối với nữ *thấp hơn*. Tại sao? Đây là câu chuyện có thật; trong phiên bản này, con số đã được đơn giản hoá để làm cho sự kiện rõ ràng hơn. Nhưng một đại học lớn có lần bị phóng viên làm phiền theo lối này, mặc dù ưu tiên cho nữ trong các khoa. Một số phóng viên là vua nói xạo. Câu đố 299 e

* *

Nhiều lời nói xạo chỉ chứa 1 khái niệm, có khi chỉ một từ đơn giản. Thí dụ như 'gươm laser', 'aether', 'sự hoá thể' hay 'phi thuyền không gian'. Cách nay khá lâu, mỗi từ là một

Trang 281 bài thơ – ngày nay, nhiều từ là các lời nói xạo. Đúng ra *tiểu thuyết khoa học giả tưởng* là nguồn phổ biến của sự dối trá.

* *

Một lĩnh vực khác thường gặp những lời nói xạo là công nghiệp thực phẩm. Hiện nay ta có thể mua trứng nhân tạo, cà chua nhân tạo hay tôm nhân tạo. Nhưng các sản phẩm thông thường cũng không được miễn nhiễm. Nhiều sản phẩm chứa cysteine; trong nhiều thập niên, cysteine được trích xuất từ tóc người. Ở châu Âu, phần lớn thực phẩm cũng không nêu tên quốc gia sản xuất hay sản phẩm của kỹ nghệ di truyền. Nhiều bánh quy vùng Bavaria được làm ở Trung quốc.

* *

Một lời nói xạo nổi tiếng: các vụ mùa được tạo ra theo phương pháp di truyền thì có lợi cho việc cung cấp thực phẩm. Thật ra chúng làm tăng việc sử dụng thuốc trừ sâu, giảm sự phì nhiêu, tốn kém hơn và làm tăng các vấn đề về thực phẩm. Sinh nhiên liệu dành cho xe hơi đã tạo ra các hậu quả tai hại.

* *

'X là khoa học cổ xưa nhất.' Những mệnh đề như vậy, với X có thể là Nghề luyện kim, Thiên văn học, Địa lý, Toán học hay các lĩnh vực khác như ta thường nghe thấy. Rõ ràng, tất cả vừa xạo, vừa vô nghĩa.

* *

Các vật lý gia đã giúp ta phát hiện nhiều mệnh đề thông thường là các điều ba xạo. Thí dụ như: "chiêm tinh học là đúng" – "sự sáng thế đã xảy ra" – "có thể có chuyển động vĩnh cửu" – "chân không là nguồn năng lượng" – "sét do Zeus giáng xuống" – "hành động nào đó sẽ mang lại điều xui xẻo" – "tốc độ năng lượng lớn hơn tốc độ ánh sáng" – "có hiện tượng thần giao cách cảm" – "có nhiều hơn 3 chiều không gian" – "có những vật không thể đo được" – "những điều kỳ diệu mâu thuẫn với các định luật/quy luật của thiên nhiên" – "quy luật thiên nhiên có ngoại lệ" – "Thuyết lượng tử dẫn tới việc có nhiều thế giới" – "không có giới hạn đo" – "có những đại lượng vô hạn trong thiên nhiên" – "siêu đối xứng là đúng" – "hạt là các màng" – "có vũ trụ nhiều phiên bản" – "tinh thần mạnh hơn vật chất".

* *

BBC trong trò Cá tháng 4. Một trong những trò hay nhất đã được ghi lại là chim cánh cụt bay. Chỉ cần tìm trên Internet các đoạn film đẹp mắt cho thấy cách các loài chim Câu đố 300 e cánh cụt cất cánh và bay lượn.

Sự quan sát và sự thu thập dữ liệu

> Kiến thức là sự phát biểu phức tạp về sự ngu dốt.
>
> Được gán cho Karl Popper

Sự thu thập nhiều mệnh đề đúng về một loại hiện tượng, tức là một số lớn sự thật, được gọi là *kiến thức*. Nếu lĩnh vực quan sát/thí nghiệm đủ rộng thì ta đang nói về *khoa học*.

Xem 272 *Khoa học gia* là người thu thập kiến thức.* Ta đã thấy ở trên, một hiện tượng là nhập liệu đã được phân loại trong bộ nhớ của nhiều người. Vì chuyển động hiện diện ở mọi nơi quanh ta, việc mô tả tất cả các hiện tượng này là một công việc khổng lồ. Giống như các công việc lớn khác, việc sử dụng các công cụ thích hợp sẽ xác định mức độ thành công mà ta có thể đạt được. Những công cụ này trong Vật lý và trong các khoa học khác, chia thành 3 nhóm: công cụ thu thập dữ liệu quan sát, công cụ truyền đạt dữ liệu và công cụ truyền đạt các mối liên hệ giữa các dữ liệu. Nhóm sau đã được bàn luận trong phần ngôn ngữ và Toán học. Ta chỉ xét 2 phần kia.

Dụng cụ có thu thập đủ các dữ liệu quan sát không?

> “Đo những gì đo được; làm cho những cái không đo được trở thành đo được.”
> Được gán cho Galilei mặc dù không đúng.

Xem 277

Vật lý là một khoa học thực nghiệm; nó dựa trên *sự thu thập* dữ liệu quan sát. Để thực hiện điều này cho hiệu quả, tất cả các loại *dụng cụ*, tức là các công cụ giúp cho việc quan sát được dễ dàng đã được phát triển và xây dựng. Kính hiển vi, kính viễn vọng, dao động nghiệm cũng như nhiệt kế, ẩm kế, áp kế, hoả kế, quang phổ kế là các thí dụ thường gặp. Độ chính xác của các công cụ này được nâng cao một cách thường xuyên; việc sản xuất công cụ là một phần đáng kể của hoạt động công nghiệp hiện đại, thí dụ như thiết bị đo điện, dụng cụ chẩn đoán trong Y học, Hoá học và Sinh học. Dụng cụ có thể nhỏ như một đầu có vài nguyên tử tungsten để tạo ra chùm electron vài volt hay có chu vi 27 km, tạo ra các chùm proton có hiệu thế gia tốc hiệu dụng 13 TV ở CERN, Geneva. Các dụng cụ đã được sản xuất có thể chứa và đo vật chất lạnh nhất trong vũ trụ. Các dụng cụ khác đo độ biến thiên chiều dài nhỏ hơn đường kính một proton ở khoảng cách hơn 1km. Dụng cụ đã được đặt sâu trong lòng đất, trên Mặt trăng, trên nhiều hành tinh và đã được gởi ra ngoài Thái dương hệ.

Càng ngày càng có nhiều dụng cụ đo chính xác hơn, rẻ hơn, tốt hơn được phát triển và phát minh. Mặc dù ta quan tâm đến các hoạt động này nhưng trong cuộc du hành, ta Xem 274, Xem 275 chỉ mô tả sơ qua các dụng cụ; có rất nhiều sách giáo khoa về chủ đề này. Cũng có nhiều dữ liệu quan sát được thu thập bằng những dụng cụ không được đề cập trong sách này; chúng chỉ được tóm lược hay trích dẫn. Các kết quả đo quan trọng nhất trong Vật lý đã Xem 276 được ghi nhận trong các sách báo tiêu chuẩn như Landolt–Börnstein series và trong các Quyển I, trang 468 tạp chí Vật lý. Phụ lục 18 sẽ cho ta một tổng quan về các nguồn thông tin đáng tin cậy.

Trong tương lai có thể có các thí nghiệm mới quan trọng trong lĩnh vực nền tảng của chuyển động không? Hiện nay, *trong lĩnh vực đặc biệt này*, mặc dù có nhiều vật lý gia và công trình ở tầm cao của mọi thời đại, số khám phá thực nghiệm mới đã đều đặn sút giảm trong nhiều năm qua và hiện nay thì khá ít. Tính phức tạp và sự đầu tư để có được kết quả mới đã trở nên cực cao. Trong nhiều trường hợp, dụng cụ đo đã đến giới hạn của công nghệ, của ngân sách hay ngay cả của thiên nhiên, như CERN đã cho thấy. Số

* Thuật ngữ ‘khoa học gia’ là một cách gọi sai đặc biệt trong tiếng Anh. Nói cho đúng, ‘khoa học gia’ là một người theo *chủ thuyết khoa học*, một trường phái triết học cực đoan chủ trương giải quyết mọi vấn đề bằng khoa học. Vì lý do này, một số giáo phái có từ này trong tên gọi. Vì tiếng Anh không có từ ngắn hơn để chỉ ‘người thuộc về khoa học’, như họ thường gọi, nên thuật ngữ ‘khoa học gia’ bắt đầu xuất hiện ở Mỹ, từ thế kỷ 18 trở đi. Ngày nay thuật ngữ này được sử dụng trong mọi nước nói tiếng Anh – nhưng may thay, không có ở những nước khác.

thí nghiệm mới sản sinh ra các kết quả không sai lệch so với các tiên đoán lý thuyết gia tăng một cách đều đặn. Số bài báo lịch sử để khuấy động các lĩnh vực trì trệ, hết hoạt động đang tăng lên. Các công bố về hiệu ứng và khám phá mới hoá ra là bắt nguồn từ các sai số của phép đo; sự tự lừa dối hay ngay cả gian lận đã xảy ra thường xuyên đến nỗi sự hoài nghi với các kết quả mới đã trở thành phản ứng phổ biến.

Điều quan trọng nhất, không có sự khác nhau giữa dữ liệu quan sát và các lý thuyết cơ bản hiện tại về chuyển động – Thuyết tương đối và Thuyết trường lượng tử – đã biết, như chúng ta sẽ thấy trong 2 quyển kế tiếp. Mặc dù trong nhiều lĩnh vực khoa học kể cả Vật lý, người ta vẫn mong đợi các khám phá nhưng số liệu mới về nền tảng của chuyển động vẫn chỉ là các khả năng xa vời.

Tóm lại, công việc thu thập số liệu quan sát về nền tảng của chuyển động – mặc dù không tập trung trên các chủ đề khác của Vật lý – hình như đã khá *đầy đủ*. Thật vậy, đa số các thí nghiệm được mô tả trong cuộc thám hiểm này đã được tìm ra trước cuối thế kỷ 20. Cuộc du hành của chúng ta không phải là quá sớm.

> “Mọi thế hệ đều có khuynh hướng xem ‘sự kết thúc của Vật lý’ trùng với sự kết thúc của việc đóng góp về khoa học của họ.”
>
> Julian Schwinger*

Có phải là ta đã biết tất cả các biến động lực trong Vật lý không?

> “Khoa học gia có nhiều kiểu cách đáng ghét, trừ khi bạn ủng hộ lý thuyết của họ; lúc đó thì bạn có thể mượn tiền của họ.”
>
> Mark Twain

Cách thực tiễn nhất để *truyền đạt* dữ liệu quan sát đã được phát triển cách nay khá lâu: đo đạc. Một phép đo cho phép ta truyền đạt một cách hiệu quả dữ liệu quan sát tới một nơi khác và tại một thời điểm khác. Điều này không tầm thường chút nào cả; thí dụ như trong thời trung cổ người ta không thể so sánh độ chính xác của ‘độ lạnh’ của mùa đông của 2 năm khác nhau! Sự phát minh ra nhiệt kế cho ta một giải pháp đáng tin cậy cho nhu cầu này. Một *phép đo* là sự phân loại một quan sát thành một tập hợp các tiêu chuẩn quan sát. Nói một cách đơn giản:

▷ Phép đo là *sự so sánh với một chuẩn*.

Định nghĩa này chính xác và thực tiễn do đó nó được chấp nhận rộng rãi. Thí dụ như khi chiều dài một ngôi nhà được đo, đặc tính này của toà nhà được phân loại thành một tập hợp các chiều dài tiêu chuẩn, cụ thể là một tập hợp các chiều dài được xác định bằng các bội số của một đơn vị. *Đơn vị* là một tên trừu tượng dành cho một biến động lực nào

---

* Julian Seymour Schwinger (b. 1918 New York City, d. 1994 Los Angeles), vật lý gia thần đồng, nổi tiếng về sự tư duy mạch lạc và các bài giảng tuyệt hảo. Ông nghiên cứu về dẫn sóng, bức xạ synchrotron, đóng góp nhiều trong lĩnh vực vật lý hạt nhân và có công phát triển môn Điện động lực học lượng tử. Đối với phần sau ông đã nhận được giải Nobel vật lý năm 1965 cùng với Tomonaga và Feynman. Ông là giáo sư hướng
Xem 273
dẫn của nhiều vật lý gia nổi tiếng và đã viết nhiều sách giáo khoa quan trọng và tuyệt vời. Tuy vậy, lúc cuối đời, ông quan tâm đặc biệt đến một trò lừa đảo tồi tệ: dung hợp hạt nhân lạnh.

đó. Con số và đơn vị cho phép ta truyền đạt các kết quả đo một cách chính xác và hiệu quả nhất.

Đối với mọi đại lượng đo được, đơn vị và phương pháp đo tiêu chuẩn trong thực tế đã được định nghĩa; các đơn vị chính đã được liệt kê và định nghĩa trong Phụ lục 11. Mọi đơn vị đều dẫn xuất từ một vài đơn vị cơ bản; điều này có nguồn gốc sâu xa từ số lượng giác quan hạn chế của chúng ta: chiều dài, thời gian và khối lượng liên hệ với thị giác, thính giác và xúc giác. Đến lượt số giác quan hạn chế lại bắt nguồn từ một số ít các biến động lực của thiên nhiên. Động vật và máy móc có cùng một số giác quan cơ bản.

Ta gọi *các biến động lực* là các đặc tính đo được của một hệ. Phần lớn các biến động lực như kích thước, tốc độ, vị trí, v.v... đều có thể mô tả bằng các con số và trong trường hợp này chúng là *các đại lượng*, tức là bội số của một số đơn vị tiêu chuẩn. Các biến động lực được viết tắt bằng các *ký hiệu (toán học)*, thường là các chữ cái trong bảng mẫu tự. Thí dụ như ký hiệu *c* thường đặc trưng cho vận tốc ánh sáng. Đối với một số biến động lực, ký hiệu tiêu chuẩn đã được các tổ chức quốc tế định nghĩa.* Ký hiệu của các biến động lực mô tả trạng thái của một vật còn được gọi là *biến*. Các biến mà các biến động lực khác phụ thuộc vào nó thường được gọi là *tham số*. (Nên nhớ: một tham số là một hằng biến.) Thí dụ như tốc độ của ánh sáng là một hằng số, vị trí là một biến và nhiệt độ thường là một tham số vì chiều dài một vật có thể phụ thuộc vào nó. Cũng nên chú ý rằng không phải mọi biến động lực đều là đại lượng; đặc biệt, tính chẵn lẻ không phải là bội số của một đơn vị nào cả.

Biến động lực vật lý là các công cụ để truyền đạt số liệu quan sát được. Nó có thể cho ta biết về các quan sát không? Có, vì ta làm điều này mỗi ngày. Nhưng có nhiều triết gia có sở thích làm khác đi. Bạn hãy bàn xem có thể có một thí dụ về 'Elementarsatz' – sự kiện nhỏ nhất – mà Wittgenstein đã đề cập trong tác phẩm *Tractatus* hay không. Các nhà vật lý có ít nhất một điểm đồng ý với nhau là: *có sự khác biệt*. Đó là một mệnh đề đơn giản; trong phần cuối cùng nó sẽ có một vai trò quan trọng.

Ngày nay, người ta đã biết mọi biến động lực. Công việc xác định công cụ truyền đạt số liệu quan sát có thể xem như *đã xong*. Đây là một phát biểu đơn giản và mạnh. Nó chứng tỏ rằng việc tìm hiểu những điều cơ bản của chuyển động gần như kết thúc.

Thật vậy, BIPM, Văn phòng quốc tế về cân đo, không còn thêm các đơn vị mới. Đơn vị sau cùng, katal, được đưa ra năm 1999 là viết tắt của mol/s. Danh sách đầy đủ của các đơn vị vật lý được trình bày trong Phụ lục 11.

Người ta không trông chờ vào việc tìm ra các biến động lực mới. Trong quá khứ vai trò quan trọng của một vật lý gia có thể được đánh giá xếp loại bằng số biến động lực mà họ khám phá. Việc khám phá các biến động lực ít phổ biến hơn việc khám phá các kiểu thức mới, hay 'các định luật' của thiên nhiên. Ngay cả một vật lý gia vĩ đại như Einstein, người đã khám phá nhiều định luật thiên nhiên chỉ đưa ra có một biến động lực mới đó là tensor metric để mô tả lực hấp dẫn. Theo tiêu chuẩn này – cũng như các tiêu chuẩn khác – có lẽ Maxwell là vật lý gia quan trọng nhất vì đã giới thiệu nhiều biến động lực phụ thuộc vào vật chất. Đối với Schrödinger, hàm sóng mô tả chuyển động của electron có thể được tính như một biến động lực (mặc dù nó là một đại lượng cần để tính toán

* Mọi ký hiệu toán học được sử dụng trong sách này cùng với bảng chữ cái được liệt kê trong Phụ lục 16 về ký hiệu. Chúng được định nghĩa theo các tiêu chuẩn quốc tế. Ký hiệu tiêu chuẩn của các đại lượng vật lý, đã được Tổ chức tiêu chuẩn quốc tế (ISO), Hiệp hội Vật lý thuần tuý và ứng dụng quốc tế (IUPAP) và Hiệp hội Hoá học thuần tuý và ứng dụng quốc tế (IUPAC) định nghĩa, có thể tìm thấy trong the *bible*, tức là the *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press, 1992.

các kết quả đo được và chính nó không phải là một biến động lực). Ngoài ra, việc giới thiệu *bất kỳ* một thuật ngữ nào được nhiều người sử dụng cũng là một điều hiếm có; 'khí', 'entropy' hay 'động năng' là các thí dụ như vậy. Thông thường, các biến động lực được nhiều người hợp tác phát triển. Thật vậy, hầu như không có biến động lực nào mang tên người trong khi các 'định luật' thì lại có.

Nếu ta cho rằng danh sách các biến động lực cần để mô tả thiên nhiên đã đầy đủ thì điều này có đồng nghĩa với việc người ta đã biết mọi kiểu thức hay quy luật của thiên nhiên hay không? Không nhất thiết phải như vậy; trong lịch sử Vật lý, các biến động lực thường được định nghĩa và đo đạc rất lâu *trước khi* các quy luật chính xác liên hệ với chúng được khám phá. Thí dụ như mọi biến động lực được sử dụng trong việc mô tả chuyển động – như thời gian, vị trí và đạo hàm của nó, động lượng, năng lượng và mọi đại lượng nhiệt động lực – đã được định nghĩa trước hay trong thế kỷ 19, trong khi các phiên bản chính xác của các kiểu thức hay 'định luật' của thiên nhiên liên hệ với chúng, *Thuyết tương đối đặc biệt* và *Nhiệt động lực học không cân bằng*, chỉ được tìm thấy trong thế kỷ 20. Điều tương tự cũng đúng đối với mọi biến động lực liên kết với tương tác điện từ. Kiểu thức đúng của thiên nhiên, *Điện động lực học lượng tử*, được khám phá sau các biến động lực rất lâu. Các biến động lực được khám phá sau cùng là trường của tương tác hạt nhân mạnh và yếu. Trong trường hợp này kiểu thức thiên nhiên được thiết lập sau đó rất lâu.

Tóm lại, mọi biến động lực về các phần cơ bản của chuyển động đã được khám phá. Hiện nay ta đang ở trong một tình trạng may mắn: ta có thể nói thật chính xác về mọi chuyển động trong thiên nhiên. Phần cuối của cuộc thám hiểm sẽ khám phá khả năng sai sót (nhỏ bé) hay các lỗ hổng trong phát biểu này.

Sự quan sát có cần thời gian không?

Một quan sát là một tương tác với một phần của thiên nhiên dẫn tới việc sinh ra một mẫu tin, như một ký ức trong não, dữ liệu trên băng từ, mực trên giấy hay bất kỳ một kiểu thức cố định được áp dụng cho một quan niệm nào đó. Quá trình tương tác cần phải là một quá trình bất khả nghịch đảo thường được gọi là *ghi* lên vật mang tin. Dĩ nhiên quá trình ghi cần một lượng thời gian nào đó; thời gian tương tác bằng 0 sẽ không gây ra động tác ghi dữ liệu. Do đó một thiết bị ghi bất kỳ, kể cả não bộ, luôn ghi nhận một *trung bình theo thời gian* của số liệu quan sát, tuy có thể là ngắn.

Tóm lại, cái mà ta gọi là hình ảnh cố định, là một hình ảnh trong tâm trí hay một tấm ảnh, luôn luôn là một giá trị trung bình theo thời gian của trạng thái chuyển động. Không có việc tính trung bình thì ta sẽ không có ký ức cố định. Mặt khác, việc tính trung bình theo thời gian gây ra một sự mờ nhoè che giấu một số chi tiết nào đó; và trong cuộc tìm kiếm độ chính xác của chúng ta, vào một lúc nào đó, các chi tiết này bắt buộc phải trở nên quan trọng. Sự khám phá các chi tiết này sẽ bắt đầu trong phần sắp tới, quyển nói về Thuyết lượng tử.

Trong phần sau cùng của cuộc hành trình lên đỉnh ta sẽ khám phá ra rằng có một thời gian trung bình ngắn nhất. Các thí nghiệm trong các khoảng thời gian ngắn đó cho ta thấy nhiều chi tiết đến nỗi ta không thể phân biệt được hạt và không gian trống rỗng. Trái lại, những khái niệm trong đời sống thông thường của chúng ta chỉ xuất hiện sau một thời gian trung bình tương đối dài. Việc tìm kiếm một mô tả thiên nhiên không cần tính trung bình là một trong nhiều thách thức lớn của cuộc thám hiểm.

Phép quy nạp có phải là một vấn đề trong Vật lý hay không?

> Nur *gesetzmäßige* Zusammenhänge sind *denkbar*.*
>
> Ludwig Wittgenstein, *Tractatus*, 6.361

> Có một truyền thống về sự đối nghịch giữa những người ủng hộ phép quy nạp và những người ủng hộ phép suy diễn. Theo quan điểm của tôi nó giống như sự cãi nhau giữa 2 đầu của một con giun.
>
> Alfred North Whitehead

Phép quy nạp là một thuật ngữ thường dùng để chỉ một hành động, từ một số hữu hạn và nhỏ các thí nghiệm, tạo ra một kết luận tổng quát về kết quả của *mọi* thí nghiệm khả hữu được thực hiện ở những nơi khác hay vào lúc khác. Theo một nghĩa nào đó, nó là một từ kỹ thuật dùng để chỉ sự mạo hiểm cần thiết trong mỗi phát biểu khoa học. Các phát biểu phổ quát, kể cả các 'định luật' và kiểu thức thiên nhiên đều dựa trên sự quy nạp. Quy nạp đã là một chủ đề bàn luận chính đối với các nhà bình luận khoa học. Thường thường người ta hay nhận xét rằng, kiến thức nói một cách tổng quát hay Vật lý trong trường hợp đặc biệt, đều dựa trên sự quy nạp. Theo một số người, phép quy nạp là một kiểu tin tưởng ẩn mình dưới mọi khoa học nhưng đồng thời cũng tương phản với chúng.

Để khỏi phí sức, ta chỉ nhận xét vài điều. Điều đầu tiên có thể suy ra từ một thí nghiệm đơn giản. Hãy thử thuyết phục một nhà phê bình phép quy nạp tin vào điều họ đã chọn. Không một ai tin tưởng vào sự quy nạp lại kết luận, từ một vài kinh nghiệm không may trong quá khứ, rằng hành động đó cũng nguy hiểm trong tương lai... Tóm lại, dù ít hay nhiều thì phép quy nạp cũng dùng được.

Điểm thứ nhì là các phát biểu vật lý phổ quát luôn luôn được phát biểu công khai; chúng không bao giờ bị che giấu. Việc từ chối không tin vào điều đã chọn là hệ quả của tính bất biến của các thí nghiệm qua phép tĩnh tiến thời gian và không gian. Thật vậy, các mệnh đề tổng quát thuộc loại này đã tạo nên nền tảng của Vật lý. Tuy vậy, không có một phát biểu vật lý nào được tin tưởng chỉ vì nó có tính phổ quát; nó vẫn luôn sẵn sàng để người ta kiểm chứng bằng thực nghiệm. Sự quy nạp vật lý không phải là một phương pháp lý luận bí ẩn, nó là một phần tường minh của các phát biểu thực nghiệm. Đúng ra người ta đã biết danh sách đầy đủ của các mệnh đề 'quy nạp' được sử dụng trong Vật lý: ta đã trình bày trong phần đầu của cuộc thám hiểm. Những phát biểu này quan trọng đến nỗi chúng có tên đặc biệt: *các phép đối xứng*. Danh sách của mọi phép đối xứng trong thiên nhiên đã biết là danh sách của mọi phát biểu quy nạp được sử dụng trong Vật lý.

Quyển I, trang 282

Có lẽ luận cứ tốt nhất cho việc sử dụng phép quy nạp là không có cách nào tránh nó khi người ta đang suy nghĩ. Không có cách suy nghĩ, đối thoại hay ghi nhớ mà không sử dụng các khái niệm, tức là không giả sử rằng phần lớn các vật thể, thực thể hay quá trình có cùng tính chất đối với thời gian. Cũng không thể liên lạc với người khác mà không giả sử rằng các thí nghiệm do người khác thực hiện cũng giống như thí nghiệm của mình. Không có phương thức suy nghĩ nào không có phép đối xứng và phép quy nạp. Thật vậy, các khái niệm này liên quan tới phép đối xứng và phép quy nạp, giống

* 'Người ta chỉ *có thể hình dung được* các kết nối *chịu tác động của định luật*.'

Trang 279
Xem 272
Câu đố 301 s

như không gian và thời gian, chúng thuộc về các khái niệm cơ bản của ngôn ngữ. Đúng ra chỉ có các câu không sử dụng phép quy nạp, các câu lý luận, mới không có nội dung (*Tractatus*, 6.11). Không có phép quy nạp, ta không thể phân loại các quan sát! Sự tiến hoá đã cho ta ký ức và một bộ não vì ta dùng được phép quy nạp. Việc phê bình phép quy nạp không phải là phê bình khoa học tự nhiên, mà đó là phê bình việc sử dụng tư tưởng nói chung. Ta không nên coi trọng những người làm những điều mà họ đã phê bình người khác; ta chỉ quan tâm đến họ ở mức độ để cập sơ qua những nỗ lực vô vị này. Chủ đề này có thể kết thúc ở đây, nếu không phải là vì một số phát triển thú vị trong Vật lý hiện đại đã kết liễu các lập luận chống lại phép quy nạp. Trước hết trong Vật lý, khi ta phát biểu về thí nghiệm, thời điểm hay vận tốc thì thật ra những mệnh đề đó chỉ để cập tới *một số hữu hạn* các trường hợp. Hơn bao giờ hết, ta đã biết rằng trong thiên nhiên không có vô hạn, cả về kích thước lẫn số lượng. Số vô hạn xuất hiện trong các mệnh đề của Vật lý cổ điển và trong Cơ học lượng tử chỉ là biểu kiến chứ không có thực và bắt nguồn từ sự đơn giản hoá và tính toán gần đúng của con người. Các phát biểu cho rằng một thí nghiệm nào đó cho cùng một kết quả 'ở mọi nơi' hay phương trình đã cho đúng tại 'mọi thời điểm', luôn luôn chỉ chứa đựng một số *hữu hạn* các trường hợp điển hình. Bằng cách này ta có thể tránh được sự chống đối theo bản năng với các phát biểu như vậy. Trong khoa học cũng như trong sách này 'tất cả' *không bao giờ* có nghĩa là 'vô hạn'.

Kế đến, người ta cũng đã biết rõ rằng sự ngoại suy từ một vài trường hợp sang nhiều trường hợp sẽ sai khi các trường hợp đó độc lập với nhau. Tuy vậy, kết luận này sẽ đúng nếu các trường hợp đó phụ thuộc nhau. Từ sự quan sát một số người đã tìm thấy 1 penny trên đường phố vào 2 tháng sau đó, ta không thể suy ra là anh ta sẽ tìm thấy tiền trong một tháng sau đó. Sự quy nạp chỉ đúng khi ta biết rằng mọi trường hợp đều xảy ra như nhau, thí dụ như chúng có cùng nguồn gốc. Nếu một người hàng xóm, túi có lỗ thủng, mang tiền lương của mình băng qua đường mỗi tháng 1 lần và lỗ thủng này luôn luôn mở khi người đó ở đầu cầu thang, thì kết luận này sẽ đúng.

Kết quả của Vật lý hiện đại mà ta gặp trong phần cuối cuộc hành trình là mọi trường hợp trong thiên nhiên thực sự phụ thuộc nhau và như vậy ta sẽ chứng minh rằng điều mà ta gọi là 'phép quy nạp' là một kết luận đúng về mặt luận lý.

> “Trong sự tiến bộ của Vật lý, ngoại lệ hoá ra lại là trường hợp tổng quát.”

Cuộc tìm kiếm độ chính xác và các hệ quả của nó

> “Der Zweck der Philosophie ist die logische Klärung der Gedanken.*”
>
> Ludwig Wittgenstein, *Tractatus*, 4.112

Bàn luận đầy đủ về chuyển động đồng nghĩa với bàn luận một cách chính xác. Sự chính xác đòi hỏi không phạm phải 3 sai lầm thông thường khi mô tả thiên nhiên.

Trước hết, các khái niệm phải *nhất quán*. Các khái niệm không chứa các mâu thuẫn trong định nghĩa. Thí dụ, hiện tượng xảy ra trong thiên nhiên thì hiển nhiên là một hiện tượng 'tự nhiên'; do đó nói về hiện tượng 'siêu nhiên' hay 'không tự nhiên' là một sai lầm mà không người nào quan tâm đến chuyển động lại phạm phải; những thuật ngữ như

* 'Đối tượng của triết học là sự minh giải hợp lý các tư tưởng.'

vậy chứa đựng mâu thuẫn về mặt luận lý. Một điều đương nhiên là *mọi* quan sát đều (là hiện tượng) tự nhiên. Cũng cần nói thêm là có một phần thưởng hơn 1 triệu dollar cho Xem 278 người chứng minh được điều ngược lại. Trong thời gian trên 20 năm, dù có nhiều cố gắng, chưa có ai lấy được phần thưởng này.

Thứ 2, các khái niệm phải *cố định*. Các khái niệm phải có định nghĩa rõ ràng và không Xem 279 thay đổi. Điều ngược lại thường gặp ở những người lập dị hay các chính trị gia dân tuý; nó phân biệt những kẻ này với các tư tưởng gia có uy tín. Vật lý gia cũng có khi sụp bẫy; thí dụ như chỉ có một vũ trụ (vật lý) *đơn lẻ*, ngay như cái tên đã cho ta thấy. Việc nói là có nhiều vũ trụ là một sai lầm càng ngày càng xảy ra nhiều hơn.

Thứ 3, các khái niệm phải *được sử dụng như đã định nghĩa*. Không nên sử dụng ngoài phạm vi áp dụng của chúng. Ta rất dễ bị cám dỗ để chuyển các kết quả từ Vật lý sang Triết học mà không kiểm tra lại nội dung. Một thí dụ là câu hỏi: 'Tại sao các hạt lại tuân theo các định luật thiên nhiên?' Sai lầm trong câu hỏi bắt nguồn từ sự hiểu lầm thuật ngữ 'định luật thiên nhiên' với luật pháp của quốc gia.

Nếu thiên nhiên bị các 'luật lệ' chi phối thì quốc hội có thể thay đổi chúng.

Ta nên nhớ rằng 'định luật thiên nhiên' chỉ đơn giản là 'kiểu thức', 'tính chất' hay 'sự mô tả của hành trạng'. Như vậy ta có thể phát biểu câu hỏi cho đúng như sau 'Tại sao các hạt hoạt động theo phương thức mà ta đã mô tả?' và ta sẽ nhận ra sự vô nghĩa của câu hỏi đó.

Trong cuộc thám hiểm, ta sẽ thường xuyên bị 3 sai lầm này cám dỗ. Sau đây là một vài tình huống cùng với cách để ta loại bỏ chúng.

> Sự nhất quán là nơi ẩn náu cuối cùng của sự thiếu sáng tạo.
>
> Oscar Wilde

Tương tác là gì? – không có sự đột sinh

> Toàn thể luôn luôn nhiều hơn tổng các thành phần của nó.
>
> Aristotle, *Metaphysica*, 10f–1045a.

Trong sự mô tả thiên nhiên của vật lý, toàn thể luôn luôn *nhiều hơn* tổng các thành phần của nó. Thật ra sự khác nhau có một cái tên đặc biệt:

▷ Sự khác nhau giữa toàn thể và tổng các thành phần của nó được gọi là *sự tương tác giữa các thành phần.*

Thí dụ như năng lượng của toàn thể - tổng năng lượng của các thành phần được gọi là năng lượng tương tác. Việc nghiên cứu các tương tác là chủ đề chính của Vật lý. Nói cách khác Vật lý chủ yếu liên quan tới sự khác nhau giữa thành phần và toàn thể. Điều này khác với những điều mà các phóng viên tệ hại và các nhà tư tưởng cẩu thả đưa ra.

Bạn cũng nên chú ý rằng thuật ngữ 'tương tác' dựa trên nhận xét tổng quát là bất kỳ vật nào cũng ảnh hưởng đến vật khác và ngược lại:

▷ Tương tác có tính tương hỗ.

Thí dụ như nếu có một vật làm thay đổi động lượng của một vật khác thì vật kia cũng làm cho động lượng của vật này thay đổi một lượng như vậy (nhưng ngược dấu). Tính tương hỗ của tương tác là kết quả của các 'định luật' bảo toàn. Tính chất này cũng là lý do mà những người sử dụng thuật ngữ 'tương tác' bị những người theo tôn giáo nhất
Xem 280
thần xem là dị giáo, như các nhà thần học đã từng nói đến. Những người cuồng tín này thường nhấn mạnh rằng tính tương hỗ hàm ý chối bỏ tính bất biến của thượng đế. (Họ
Câu đố 302 s
có đúng không?)

Định nghĩa đơn giản của sự tương tác đã cho ở trên đây nghe có vẻ sơ đẳng nhưng nó dẫn tới những kết luận đáng kinh ngạc. Hãy lấy tư tưởng nguyên tử của Democritus dưới dạng hiện đại: thiên nhiên được tạo thành từ chân không và hạt. Hệ quả đầu tiên là *nghịch lý mô tả không đầy đủ*: thí nghiệm chứng tỏ rằng có sự tương tác giữa chân không và hạt. Tuy vậy, tương tác là sự khác nhau giữa thành phần và toàn thể, trong trường hợp này là chân không và hạt ở một bên còn toàn thể là phía bên kia. Như vậy ta đã suy ra là thiên nhiên không chỉ được tạo thành từ chân không và hạt.

Hệ quả thứ 2 là *nghịch lý mô tả quá đầy đủ*. Nó khởi đầu từ kết quả được suy ra sau
Quyển IV, trang 199
đây:

▷ Thí nghiệm chứng tỏ rằng tương tác xảy ra thông qua sự trao đổi các hạt.

Tuy vậy, ta đã xem hạt là các viên gạch xây dựng cơ bản của thiên nhiên. Có phải điều
Câu đố 303 s
này có nghĩa là sự mô tả thiên nhiên bằng chân không và hạt là một mô tả dư thừa, vì tính các vật đến 2 lần không? Ta sẽ giải quyết cả 2 nghịch lý này trong phần cuối của
Quyển VI, trang 85
hành trình lên đỉnh.

Việc áp dụng định nghĩa tương tác cũng trả lời luôn cho câu hỏi thường gặp là thiên nhiên có tính 'đột sinh' hay không, tức là tính chất của các hệ thống mà ta không thể suy ra từ tính chất của các thành phần và sự tương tác. Nhờ định nghĩa tương tác sẽ không có tính đột sinh. 'Tính đột sinh' chỉ có được nếu tương tác được tính gần đúng hay được
Quyển I, trang 425
bỏ qua. Ý tưởng 'đột sinh' là một sản phẩm của những đầu óc hạn hẹp, không nhìn thấy
Xem 281
hay thừa nhận sự phong phú của các hệ quả suy ra từ các nguyên lý tổng quát. Khi bảo vệ tính đột sinh người ta đã xem thường sự quan trọng của sự tương tác, sự hoạt động, với một thái độ vô thưởng vô phạt, vô ý thức, đúng ra là thầm lén chống lại việc sử dụng lý trí để tìm hiểu thiên nhiên. 'Tính đột sinh' là một điều mê tín.

Sự hiện hữu là gì?

> “Bạn biết tôi thích điều gì nhất không? những câu hỏi cường điệu.”

Xem 282
Giả sử có một người nói với bạn rằng 'Hôm nay tôi đã thấy một *con cá heo lớn*!' Thường thường bạn sẽ hỏi nó trông như thế nào. Chúng ta chờ đợi câu trả lời nào? Ta sẽ mong đợi một câu đại loại như 'Nó là một con vật có một số đầu giống như X, gắn vào một thân mình giống như Y, có cánh giống như Z, nó kêu giống như U và da nó giống như V' – các ký tự ký hiệu cho các con vật hay đồ vật. Nói chung là trong trường hợp một vật, ở đây rút ra từ cuộc hành trình của Darwin tới Nam Mỹ, cho ta thấy rằng để nói

với nhau, đầu tiên ta cần các khái niệm chung và cơ bản ('động vật', 'đầu', 'cánh', v.v...).* Ngoài ra, đối với định nghĩa của một thực thể mới ta cần mô tả đặc điểm của các phần của nó ('kích thước', 'màu sắc'), mối liên hệ giữa các thành phần này và phương thức mà thực thể tương tác với thế giới bên ngoài ('cảm giác', 'âm thanh'). Nói cách khác, để một vật hiện hữu, ta phải đưa ra được một danh sách các mối liên hệ giữa nó với thế giới bên ngoài.

▷ Một vật *hiện hữu* nếu ta có thể tương tác với nó.

Câu đố 304 s Sự quan sát có đủ để ta xác định sự hiện hữu không?

Đối với một khái niệm trừu tượng như 'thời gian' hay 'siêu dây', định nghĩa của hiện hữu phải được trau chuốt một chút:

▷ *Sự hiện hữu (vật lý)* là tính hiệu quả trong việc mô tả sự tương tác một cách chính xác.

Định nghĩa này áp dụng cho cây cỏ, thời gian, hạt ảo, số ảo, entropy, v.v... Như vậy sẽ là điều vô nghĩa để bàn luận xem một khái niệm vật lý 'có hiện hữu' hay không, hay có phải nó 'chỉ là' sự trừu tượng được sử dụng làm công cụ mô tả các thí nghiệm hay không. Hai khả năng này trùng nhau. Điểm mà ta cần bàn cãi ở đây chỉ có thể là sự mô tả do khái niệm cung cấp có *chính xác* hay không.

Đối với các khái niệm toán học, sự hiện hữu có một ý nghĩa hơi khác: một khái niệm toán học hiện hữu nếu nó không chứa các mâu thuẫn nội tại. Điều kiện này yếu hơn so với sự hiện hữu vật lý. Như vậy việc suy ra sự hiện hữu vật lý từ sự hiện hữu toán học là không đúng. Đây là sai lầm thường gặp; từ thời Pythagoras trở đi người ta thường phát biểu rằng vì có các khái niệm toán học nên chúng phải hiện hữu trong thiên nhiên. Về mặt lịch sử sai lầm này xảy ra trong các phát biểu như quỹ đạo hành tinh 'phải' tròn, hình dạng của hành tinh 'phải' là hình cầu hay không gian vật lý 'phải' là Euclide. Ngày nay vẫn còn phát biểu như không gian và thời gian 'phải' liên tục, thiên nhiên 'phải' được mô tả bằng tập hợp. Trong mọi trường hợp, những lý luận này sai. Đúng ra những nỗ lực không ngừng để suy ra sự hiện hữu vật lý từ sự hiện hữu toán học che giấu một điều đúng ngược lại: chỉ cần suy nghĩ một chút, ta sẽ thấy sự hiện hữu toán học là một trường
Câu đố 305 s hợp đặc biệt của sự hiện hữu vật lý.

Ta cũng nên nhớ rằng cũng có một loại hiện hữu khác là *sự hiện hữu tâm lý*. Một khái niệm hiện hữu tâm lý nếu nó mô tả kinh nghiệm bên trong của con người. Như vậy một khái niệm có thể hiện hữu về mặt tâm lý ngay cả khi nó không hiện hữu về mặt vật lý. Ta dễ dàng tìm được thí dụ trong tôn giáo hay trong các hệ mô tả kinh nghiệm bên trong.
Câu đố 306 s Các truyện thần thoại, truyền thuyết và truyện tranh cũng định nghĩa các khái niệm chỉ hiện hữu tâm lý chứ không hiện hữu vật lý. Trong cuộc hành trình của chúng ta, khi ta nói về sự hiện hữu, ta chỉ muốn nói đến sự hiện hữu vật lý.

* Ngoài ra grampus là tên cũ của 'cá voi sát thủ'.

Sự vật có hiện hữu không?

> Wer Wissenschaft und Kunst besitzt,
> Hat auch Religion;
> Wer jene beiden nicht besitzt,
> Der habe Religion.*
> Johann Wolfgang von Goethe, *Zahme Xenien, IX*

Sử dụng định nghĩa 'hiện hữu' trên, câu hỏi này trở nên tầm thường hoặc mơ hồ. Nó tầm thường theo nghĩa: vật cần hiện hữu nếu nó mô tả các quan sát, vì chúng được định nghĩa theo cách đó. Nhưng có lẽ người ta muốn hỏi: Thực tại có hiện hữu độc lập với người quan sát hay không?

Câu hỏi có thể viết lại như sau: 'Vật mà ta quan sát có hiện hữu độc lập với sự quan sát hay không?' Sau hàng ngàn năm bàn luận rộng rãi, các triết gia chuyên nghiệp, các nhà luận lý học, những kẻ nguỵ biện lẫn các tay mơ đều có câu trả lời như nhau: đó là 'có' vì thế giới không thay đổi sau khi bà cố qua đời. Sự biến mất của quan sát viên hình như không làm thay đổi vũ trụ. Những điều phát hiện từ thực nghiệm này có thể được củng cố bằng cách đưa định nghĩa 'hiện hữu' vào câu hỏi, lúc đó trở thành: 'Vật mà ta quan sát có tương tác với các mặt khác của thiên nhiên khi chúng không tương tác với con người không?' Câu trả lời thì hiển nhiên. Nhiều sách phổ thông về Cơ học lượng tử đã tưởng tượng về sự quan trọng của 'trí tuệ' của quan sát viên – với mọi ý nghĩa của từ này; họ cung cấp những thí dụ đẹp đẽ về những tác giả tự xem mình là những người không thể thay thế và hình như đã mất khả năng nhận ra mình là một phần của một thực thể lớn hơn.

Dĩ nhiên là có những ý kiến khác về sự hiện hữu của sự vật. Nổi tiếng nhất là ý kiến của George Berkeley (b. 1685 Kilkennys, d. 1753 Oxford) người đã hiểu đúng rằng tư tưởng chỉ dựa trên sự quan sát, nếu được quảng bá ra, nó sẽ làm suy yếu tổ chức tôn giáo mà ông là một trong những người đứng đầu. Để chống lại khuynh hướng này, năm 1710 ông cho xuất bản quyển sách *A Treatise Concerning the Principles of Human Knowledge*, chối bỏ sự hiện hữu của thế giới vật chất. Quyển sách phản động này trở nên phổ biến trong những người có cùng quan điểm (đó là thời có ít sách vở) mặc dù nó dựa trên một ý tưởng sai lầm cơ bản: nó đã giả sử rằng khái niệm 'hiện hữu' và khái niệm 'thế giới' có thể định nghĩa một cách độc lập. (Có lẽ bạn cũng muốn thử lập nên kỳ công này).

Berkeley có 2 mục đích khi viết quyển sách đó. Thứ nhất, ông cố gắng phủ nhận khả năng đánh giá thiên nhiên hay vật chất *từ kinh nghiệm riêng* của con người. Thứ hai, ông cũng cố gắng phủ nhận *sự tiếp cận mang tính chất bản thể* của khoa học, tức là những kết luận mà người ta có thể rút ra từ kinh nghiệm về vấn đề hiện hữu của con người. (Sau đó, một đại học đã sử dụng tên ông ta không chút ngượng ngùng.) Mặc dù ngày nay Berkeley đã bị xem thường, ông ta cũng đã đạt được mục đích chính: là người đã phát biểu rằng khoa học và tôn giáo không mâu thuẫn mà *bổ sung* cho nhau. Khi nói đến tôn giáo Berkeley không muốn nói đến đạo đức hay tinh thần; mọi khoa học gia đều quen thuộc với hai điều này. Ở đây, Berkeley muốn nói rằng tôn giáo, là niềm tin chuẩn mực mà ông ta có, đứng trên sự suy diễn của lý trí. Phát biểu, được trích dẫn rộng rãi, về sự

* Người sở hữu khoa học và nghệ thuật cũng sở hữu tôn giáo; người không có hai điều này, tốt hơn nên có tôn giáo.

tương hợp của khoa học và tôn giáo (tức là đức tin) vẫn được nhiều người ủng hộ cho tới ngày nay.

Một sai lầm khác là hỏi *lý do* sự vật hiện hữu. Câu hỏi này vô nghĩa. Nó là một sự phung phí thời gian do sự tin tưởng vào các điều nhảm nhí. Khi tìm kiếm nguồn gốc chuyển động, phải để lại *mọi* niềm tin. Mang theo niềm tin giống như mang hành lý quá nặng: làm như vậy sẽ khiến cho ta không thể đạt tới mục đích sau cùng.

Hư vô có hiện hữu không?

> Thầy: 'Giữa hạt nhân và electron là cái gì?'
> Trò: 'Không có gì cả, chỉ có không khí.'

Trong các luận bàn triết học, '*hư vô*' thường được định nghĩa là 'không hiện hữu'. Việc hỏi để có câu trả lời có/không đối với câu hỏi 'Hư vô có hiện hữu không?' đúng là một trò chơi chữ. Từ ngữ 'Sự hiện hữu của sự không hiện hữu' là một sự mâu thuẫn về từ ngữ hoặc không xác định; chủ đề này hình như không được quan tâm nhiều. Tuy vậy, những câu hỏi tương tự đã xuất hiện trong Vật lý và một vật lý gia nên chuẩn bị phân biệt sự khác nhau của câu hỏi này với câu hỏi trên. Chân không có hiện hữu không? Không gian trống rỗng có hiện hữu không? Hay thế giới có 'lấp đầy' mọi nơi, như nhà tự nhiên học bảo thủ Aristotle đã nói không? Trong quá khứ, có người đã bị xử tử vì những câu trả lời không hợp ý những người có quyền lực.

Điều tuy không hiển nhiên nhưng quan trọng là các khái niệm vật lý hiện đại về 'chân không' và 'không gian trống rỗng' không giống như khái niệm 'hư vô' của triết học. 'Chân không' không phải là 'không hiện hữu'; trái lại, nó được định nghĩa là sự không có vật chất và bức xạ. Chân không là một thực thể có những tính chất đặc biệt, như số chiều, các hằng số điện từ, độ cong, khối lượng bằng 0, sự tương tác giữa nó và vật chất thông qua độ cong và tác dụng của nó trên sự phân rã, v.v... Một bảng các tính chất của chân không vật lý được cho ở Trang 137. Về mặt lịch sử, người ta mất khá nhiều thời gian để phân biệt giữa chân không vật lý và hư vô triết học. Người ta đã nhầm 2 khái niệm này và đã tranh luận về sự hiện hữu của chân không trong hơn 2000 năm. Người đầu tiên cho rằng nó hiện hữu, với sự can đảm để cố gắng nhận ra sự mâu thuẫn về mặt luận lý trong thực tại vật lý là Leucippus và Democritus, những tư tưởng gia can đảm nhất của thời thượng cổ. Sự suy đoán của họ đã tạo ra phản ứng chống đối của Aristotle bằng cách vứt bỏ khái niệm chân không. Aristotle và môn đệ đã truyền bá tư tưởng về *sự kinh khủng của chân không* của thiên nhiên.

Sự bàn luận đã thay đổi hoàn toàn trong thế kỷ 17 khi phương pháp thực nghiệm đầu tiên để tạo ra chân không đã được Torricelli nghĩ ra.* Bằng cách sử dụng thuỷ ngân trong các ống thuỷ tinh, ông đã tạo ra chân không đầu tiên trong phòng thí nghiệm. Bạn có thể đoán ra cách làm không? Câu đố 307 s Những lập luận chống lại sự hiện hữu của chân không lại xuất hiện vào khoảng năm 1900, khi người ta cho rằng ánh sáng cần 'aether' để lan truyền, bằng cách sử dụng cùng một lập luận được sử dụng trước đó 200 năm nhưng bằng các từ ngữ khác. Tuy vậy, các thí nghiệm không phát hiện được một tính chất giả định nào của khái niệm được định nghĩa một cách mơ hồ này. Các thí nghiệm trong lĩnh vực Thuyết

* Evangelista Torricelli (b. 1608 Faenza, d. 1647 Florence), vật lý gia, học trò và truyền nhân của Galilei. Đơn vị áp suất (không thuộc hệ SI) 'torr' được đặt theo tên ông.

tương đối cho ta thấy rằng chân không có thể chuyển động – mặc dù theo phương thức khác với cách aether chuyển động theo giả định – có thể bị uốn cong nhưng có khuynh hướng trở lại hình dạng ban đầu. Lúc đó, cuối thế kỷ 20, Thuyết trường lượng tử lại đưa ra luận điểm chống lại sự hiện hữu của chân không thật và ủng hộ một không gian đầy các cặp hạt–phản hạt ảo. Vấn đề nảy sinh khi người ta bàn luận về hằng số vũ trụ.

Quyển VI, trang 58

Tóm lại, có chân không. Câu hỏi 'Hư vô có hiện hữu không?' chỉ được giải quyết dứt điểm trong phần cuối của cuộc hành trình một cách khá bất ngờ.

Quyển VI, trang 87

> Thiên nhiên không thích chân không.
>
> Cổ nhân

Thiên nhiên có phải là vô hạn không?

> Điều chắc chắn và hiển nhiên đối với giác quan của chúng ta là trong thế giới có vật gì đó chuyển động. Vật chuyển động được là do vật khác... Vật đó cũng cần vật khác làm cho chuyển động và sự việc cứ thế tiếp diễn. Nhưng việc này không thể tiếp diễn vô hạn vì lúc đó sẽ không có vật chuyển động đầu tiên và kết quả là không có vật chuyển động khác; cũng bởi vì như ta đã thấy các vật chuyển động sau cũng chỉ chuyển động nhờ vật đầu tiên hay như cây gậy chuyển động nhờ bàn tay. Do đó vật đầu tiên cần một tác động khác để có thể chuyển động được và mọi người đều hiểu đó là thượng đế.
>
> Thomas Aquinas (b. *c.* 1225 Aquino, d. 1274 Fossanova) *Summa Theologiae*, I, q. 2.

Phần lớn các cuộc bàn luận hiện đại về Lý thuyết tập hợp đều tập trung vào cách định nghĩa thuật ngữ 'tập hợp' đối với các loại tập hợp vô hạn khác nhau. Đối với việc mô tả chuyển động điều này dẫn tới 2 câu hỏi: vũ trụ có vô hạn không? Nó có phải là tập hợp không? Ta hãy bắt đầu với câu hỏi 1. Chiếu rọi câu hỏi này từ các quan điểm khác nhau, ta sẽ nhanh chóng khám phá ra rằng nó vừa đơn giản vừa mơ hồ.

Ta có cần các đại lượng vô hạn để mô tả thiên nhiên không? Trong Vật lý cổ điển và Vật lý lượng tử thì chắc chắn cần, thí dụ như trường hợp của không-thời gian.

Một tập hợp bất kỳ có thể hữu hạn ở mặt này nhưng vô hạn ở mặt khác. Thí dụ như ta có thể đi trên một khoảng cách toán học hữu hạn trong một thời gian vô hạn. Ta cũng có thể du hành trên một đoạn đường bất kỳ trong thời gian toán học đã cho với tốc độ

Quyển II, trang 50

vô hạn, ngay cả có tính đến Thuyết tương đối, như ta đã giải thích trước kia.

Dù có sử dụng sự vô hạn, khoa học gia vẫn bị giới hạn. Như ta đã thấy trên đây là

Trang 287

có nhiều loại vô hạn. Tuy vậy không có vô hạn lớn hơn bản số của số thực dùng trong Vật lý. Không có không gian hàm, không gian phase trong Vật lý cổ điển và cũng không

Xem 283

có không gian Hilbert trong Thuyết lượng tử có bản số lớn hơn. Dù các toán gia có khả năng định nghĩa các loại vô hạn lớn hơn rất nhiều, sự mô tả thiên nhiên không cần đến chúng. Ngay cả sự mô tả chuyển động phức tạp nhất cũng chỉ sử dụng sự vô hạn của số thực.

Nhưng ta có thể nói về *thiên nhiên* hay một trong các khía cạnh của nó, thực sự *là vô*

Câu đố 308 s

hạn không? Một phát biểu như vậy có tương hợp với sự quan sát không? Không. Điều

hiển nhiên là mọi phát biểu cho rằng có vô hạn trong thiên nhiên thì đó là một niềm tin và nó không được các quan sát ủng hộ. Ta sẽ kiên nhẫn loại bỏ niềm tin này trong phần sau đây.

Khả năng đưa ra một vô hạn sai sẽ làm cho các bàn luận về việc loài người có tiến gần tới chỗ 'tận cùng của khoa học' hay không trở nên khó khăn hơn. Lượng kiến thức và thời gian khám phá ra nó không có liên hệ với nhau. Tuỳ theo tốc độ nghiên cứu, chỗ tận cùng đó có thể gần hay không thể tới được. Trong thực tế, các khoa học gia có khả năng *khiến cho* khoa học trở nên vô hạn hoặc không, thí dụ như bằng cách làm giảm sự tiến bộ. Vì khoa học gia cần ngân sách cho sự nghiên cứu, ta có thể đoán được họ sẽ chọn thái độ nào.

Xem 268

Tóm lại, ta không thể chứng minh vũ trụ là vô hạn. Nhưng nó có thể *hữu hạn* không? Thoạt nhìn, đây có vẻ là khả năng duy nhất còn lại. (Nhưng không như ta sẽ thấy.) Nhưng dù có nhiều người đã cố gắng mô tả vũ trụ là hữu hạn trong mọi phương diện, vẫn chưa có ai thành công. Để hiểu những vấn đề mà họ gặp phải ta tiếp tục với câu hỏi kia:

Vũ trụ có phải là một tập hợp không?

Một quan sát đơn giản sẽ dẫn ta tới câu hỏi vũ trụ có phải là một tập hợp không. Trong 2500 năm người ta đã cho rằng vũ trụ được tạo thành từ chân không và hạt. Điều này hàm ý rằng vũ trụ được tạo thành từ *một số* hạt nào đó. Có lẽ người duy nhất cho kết luận này một giới hạn là nhà vật lý thiên văn Arthur Eddington (b. 1882 Kendal, d. 1944 Cambridge), là người đã viết:

Xem 284

Xem 285

> Tôi tin là có 15,747,724,136,275,002,577,605,653,961,181,555,468,044,717,914, 527,116,709,366,231,425,076,185,631,031,296 proton trong vũ trụ và một số lượng electron bằng như vậy.

Eddington đã luôn bị giễu cợt vì phát biểu này và vì niềm tin dẫn đến phát biểu đó. Thật ra luận điểm của ông dựa trên sở thích về một con số ưa thích nào đó. Tuy vậy, ta không nên cười quá lớn. Đúng ra trong 2500 năm hầu như mọi khoa học gia đều nghĩ theo một đường, chỉ có điều là họ không xác định rõ con số chính xác mà thôi! *Một số bất kỳ nào khác* được đặt vào câu trên cũng đều bị chế giễu như vậy. Để không phải xác định con số đó chỉ còn cách của một người nhát gan là không nhìn vào khía cạnh mù mờ của việc mô tả thiên nhiên bằng hạt.

Có số hạt trong thiên nhiên không? Nếu bạn cười nhạo phát biểu của Eddington hay bạn không đồng ý con số đó thì bạn đã tin theo bản năng là thiên nhiên không phải là một tập hợp. Có đúng như vậy không? Khi ta định nghĩa vũ trụ là tổng các biến cố hay là tổng của mọi điểm không-thời gian và vật thể, ta đã hàm ý rằng các điểm không-thời gian và vật thể có thể phân biệt đồng thời cả hai có thể phân biệt với nhau. Như vậy ta đã giả sử rằng thiên nhiên có thể phân tách được và là một tập hợp. Nhưng điều này có đúng không? Câu hỏi này rất quan trọng. Khả năng phân biệt các điểm không-thời gian và hạt với nhau thường được gọi là tính địa phương. Như vậy vũ trụ phân tách được hay là một tập hợp, nếu và chỉ nếu sự mô tả của chúng ta về nó có tính địa phương.* Và

* Trong Cơ học lượng tử người ta cũng sử dụng các định nghĩa địa phương khác, chi tiết hơn. Ta chỉ đề cập đến chúng trong phần lượng tử của bộ sách này. Vấn đề được đề cập ở đây là một vấn đề khác, cơ bản hơn và không liên quan tới Thuyết lượng tử.

Quyển IV, trang 154

trong đời sống thông thường, ta luôn quan sát thấy tính địa phương.

Trong đời sống hằng ngày ta cũng thấy rằng thiên nhiên phân tách được nhưng đồng thời cũng là một tổng thể. Nó là 'nhiều nhưng có thể xem như là một': trong đời sống hằng ngày thiên nhiên là một tập hợp. Thật vậy, đặc trưng cơ bản của thiên nhiên là tính đa dạng. Trong thế giới chung quanh, ta thấy những sự thay đổi và sự khác biệt; ta thấy thiên nhiên có thể phân tách được. Ngoài ra mọi phương diện của thiên nhiên đều đi cùng với nhau: sự liên hệ giữa các mặt này, thường được gọi là các 'định luật', cho ta thấy các mặt khác nhau của thiên nhiên tạo thành một tổng thể được gọi là vũ trụ.

Nói cách khác, khả năng mô tả các quan sát nhờ các 'định luật', mà ta có được, là từ kinh nghiệm về tính phân tách được của thiên nhiên. Xác định tính phân tách được càng chính xác, các 'định luật' càng chính xác. Thật vậy, nếu thiên nhiên không phân tách được hay nó không duy nhất, ta không thể giải thích được tại sao hòn đá lại rơi xuống.

Ngoài ra, chỉ có tính phân tách được mới cho phép ta mô tả thiên nhiên. Mô tả là một sự phân loại, tức là, một ánh xạ giữa một đặc tính của thiên nhiên và một khái niệm nào đó. Mọi khái niệm đều là các tập hợp và quan hệ. Vì vũ trụ phân tách được, ta có thể mô tả nó nhờ tập hợp và quan hệ. Cả hai đều là các thực thể phân tách được thành các phần có thể phân biệt được. Một mô tả chính xác thường được gọi là một sự hiểu biết. Tóm lại, vũ trụ có thể hiểu được chỉ vì nó phân tách được.

Ngoài ra, chỉ có tính phân tách được của vũ trụ mới làm cho não bộ của chúng ta trở thành một dụng cụ tuyệt hảo. Não bộ được xây dựng từ một số lớn các thành phần liên thông với nhau và chỉ có tính phân tách được của não bộ mới tạo ra cho nó khả năng hoạt động. Nói cách khác, ta chỉ có thể suy nghĩ nhờ thiên nhiên có tính phân tách được.

Sau cùng, chỉ có tính phân tách được của vũ trụ mới cho phép ta phân biệt được các hệ quy chiếu và xác định được mọi phép đối xứng làm nền tảng cho các mô tả vật lý. Và cũng tương tự như tính phân tách được cần thiết cho các mô tả *hiệp biến*, tính duy nhất của thiên nhiên cần thiết cho các mô tả *bất biến*. Nói cách khác, 'các định luật' của thiên nhiên đặt nền tảng trên kinh nghiệm là thiên nhiên phân tách được và hợp nhất được – thiên nhiên là một tập hợp.

Những luận chứng này có vẻ áp đảo trong việc chứng minh vũ trụ là một tập hợp. Tuy vậy, chúng chỉ áp dụng cho kinh nghiệm, kích thước và năng lượng thông thường. Thiên nhiên có còn là một tập hợp *bên ngoài* phạm vi đời sống hằng ngày không? Các vật thể có khác nhau ở mọi mức năng lượng ngay cả khi ta nhìn chúng với độ chính xác cao nhất hay không?

Ta còn lại 3 vấn đề: số hạt trong vũ trụ; định nghĩa lòng vòng của không gian, thời gian và vật chất; việc mô tả thiên nhiên được tạo thành từ các hạt và hư vô thì thừa, thiếu hay đầy đủ. Ba vấn đề này làm cho ta không biết được là có thể đếm được các vật ở mọi mức năng lượng hay không. Ta sẽ khám phá ở cuối cuộc hành trình lên đỉnh rằng thực
Quyển VI, trang 106
ra ta không thể đếm được các vật trong thiên nhiên khi năng lượng lớn. Hệ quả này có tính bao quát và thú vị. Thí dụ như ta hãy trả lời câu hỏi sau: nếu vũ trụ không phải là
Câu đố 309 s
một tập hợp, điều đó có ý nghĩa như thế nào đối với không gian và thời gian?

Vũ trụ có hiện hữu không?

> Mỗi con người tiến bộ đều vấp phải sự chống đối của hàng ngàn người được phân công làm lính gác cho quá khứ.
>
> Maurice Maeterlink

Theo định nghĩa trên, sự hiện hữu của một khái niệm đồng nghĩa với sự hữu dụng của nó khi mô tả các tương tác. Có 2 định nghĩa thông thường về khái niệm 'vũ trụ'. Đầu tiên là toàn thể vật chất, năng lượng, không gian và thời gian. Nhưng cách định nghĩa này đưa tới một hệ quả kỳ lạ: vì không có gì tương tác với toàn thể nên ta không thể nói rằng vũ trụ hiện hữu.

Như vậy ta hãy lấy định nghĩa thứ nhì, theo quan điểm chặt chẽ hơn, vũ trụ chỉ là toàn bộ vật chất và năng lượng. Nhưng trong trường hợp này ta cũng không thể tương
Câu đố 310 s
tác với vũ trụ. Bạn có thể cho một vài luận chứng để ủng hộ cho định nghĩa này không?

Tóm lại, ta đi đến kết luận là vũ trụ không hiện hữu. Thực ra ta sẽ chứng minh kết quả này một cách chi tiết trong phần sau của cuộc thám hiểm. Đặc biệt, vì vũ trụ không
Quyển VI, trang 111
hiện hữu, nên ngay cả việc trả lời câu hỏi *tại sao* nó hiện hữu là một điều vô nghĩa. Câu
Xem 220
trả lời tốt nhất có lẽ là: vì "furiously sleeping, colourless green ideas".

Sáng tạo là gì?

> (Gigni) De nihilo nihilum, in nihilum nil posse reverti.*
>
> Persius, *Satira*, III, v. 83-84.

Xem 286

> Anaxagoras, nhận thấy lý thuyết thời cổ đã cho rằng không có gì đến từ hư vô, đã quyết định từ bỏ khái niệm sáng tạo và thay nó bằng khái niệm phân biệt; trên thực tế ông không do dự khi phát biểu rằng mọi vật hoà trộn với vật khác và sự phân biệt tạo ra sự sinh trưởng của chúng.
>
> *Trích đoạn không rõ tác giả*, Thời trung cổ.

Xem 287

Ta thường nghe đến thuật ngữ 'sáng tạo' khi nói về thiên nhiên. Nó thường được sử dụng trong các ngữ cảnh khác nhau với ý nghĩa khác nhau.

Người ta thường nói sáng tạo là sự mô tả đặc điểm của các hành động của con người, như ta đã thấy trong một tranh vẽ hay trong một bản đánh máy của thư ký. Dĩ nhiên đây là một loại biến đổi. Trong việc phân loại sự biến đổi được giới thiệu lúc khởi đầu cuộc hành trình, các biến đổi là chuyển động của các vật thể như electron trong não, phân tử trong bắp thịt, vật liệu trong sơn hay electron trong máy tính. Như vậy loại sáng tạo này là một trường hợp đặc biệt của chuyển động.

Người ta cũng nói về sự sáng tạo theo nghĩa sinh học hay xã hội học, như 'sự tạo lập cuộc đời', hay 'sự tạo lập một doanh nghiệp', hay 'sự xây dựng một nền văn minh'. Những sự kiện này là các hình thức phát sinh hay tự tổ chức; chúng cũng là các trường hợp của chuyển động.

Các nhà vật lý thường nói rằng một ngọn đèn 'tạo ra' ánh sáng hay một hòn đá rơi xuống hồ 'tạo ra' các gợn sóng trên mặt nước. Tương tự như vậy, họ nói về 'sự sinh cặp'

* Không có gì (có thể xuất hiện) từ hư vô, không có gì có thể biến mất vào hư vô.

của vật chất và phản vật chất. Nó là một trong các khám phá quan trọng trong Vật lý và
Quyển IV, trang 192
tất cả các quá trình này là các loại chuyển động đặc biệt, cụ thể là sự kích thích của các trường.

Quyển V, trang 113
Trong các bài viết phổ biến về vũ trụ học, 'sáng tạo' cũng là một thuật ngữ thường được áp dụng, hay áp dụng sai, cho *big bang*. Tuy vậy, sự giãn nở của vũ trụ là một thí dụ thuần tuý về chuyển động và khác với sự hiểu lầm thường gặp, sự mô tả big bang chỉ chứa đựng các quá trình rơi vào một trong 3 phạm trù trước kia, như ta đã thấy trong chương có liên quan trong Thuyết tương đối tổng quát. Big bang không phải là một thí
Quyển II, trang 253
dụ về sự sáng tạo. Vũ trụ học lượng tử cung cấp thêm nhiều lý lẽ cho ta thấy tại sao thuật ngữ ngây thơ 'sáng tạo' không thể áp dụng cho big bang. Trước hết, big bang không phải
Quyển II, trang 252
là một biến cố. Thứ 2, nó không phải là một sự khởi đầu. Thứ 3, nó không cung cấp một *sự lựa chọn* từ một tập hợp lớn các khả năng. Big bang không có một tính chất nào đóng góp cho thuật ngữ 'sáng tạo'.

Tóm lại, trong mọi trường hợp, ta kết luận rằng *sáng tạo là một loại chuyển động*. (Điều tương tự cũng áp dụng cho các khái niệm 'biến mất' và 'huỷ biến'.) Người ta không thấy loại sáng tạo khác trong thiên nhiên. Đặc biệt, ý nghĩa ngây thơ của 'sáng tạo', cụ thể là 'sự xuất hiện từ hư vô' – *ex nihilo* trong tiếng Latin – chưa bao giờ được thấy trong thiên nhiên. Mọi kiểu 'sáng tạo' đã quan sát được, đòi hỏi phải có không gian, thời gian, lực, năng lượng và vật chất để thể hiện. Sự sáng tạo cần một cái gì đó đã có, để thay thế nó. Ngoài ra, sự tìm hiểu kỹ càng cho ta thấy rằng không có quá trình vật lý hay chuyển động nào có một sự khởi đầu. Cuộc hành trình của chúng ta sẽ chứng tỏ rằng thiên nhiên không cho phép ta ấn định điểm khởi đầu. Một mình tính chất này cũng đủ để chứng tỏ rằng 'sáng tạo' không phải là một khái niệm có thể áp dụng cho mọi điều xảy ra trong thiên nhiên. Tệ hơn, sáng tạo chỉ được áp dụng cho các hệ vật lý; ta sẽ khám phá ra rằng thiên nhiên không phải là một hệ và tệ hơn một chút, các hệ không hiện hữu ở đâu cả.

Đối nghịch với sự sáng tạo là *sự bảo toàn*. Phát biểu chủ yếu của Vật lý là các định lý bảo toàn: năng lượng, khối lượng, động lượng, moment động lượng, điện tích, v.v... Đúng ra mỗi 'định luật' bảo toàn là một sự loại bỏ hoàn toàn và chính xác khái niệm sáng tạo. Ý tưởng của người Hy Lạp cổ về nguyên tử đã chứa sự loại bỏ này. Những người theo thuyết nguyên tử cho rằng không có sáng tạo hay biến mất mà chỉ có chuyển động của các nguyên tử. Mỗi sự biến đổi của vật chất là một chuyển động của các nguyên tử. Nói cách khác, ý tưởng về nguyên tử là một hệ quả trực tiếp từ sự phủ nhận sự sáng tạo. Loài người cần hơn 2000 năm trước khi giải thoát cho người bị tù đày vì nói về nguyên
Quyển I, trang 334
tử, như đã từng xảy ra cho Galilei.

Tuy vậy, có một ngoại lệ áp dụng khái niệm ngây thơ của sự sáng tạo: nó mô tả những điều mà các ảo thuật gia biểu diễn trên sân khấu. Khi nhà ảo thuật làm cho một con thỏ xuất hiện từ hư vô, ta thực sự cảm nhận được 'sự sáng tạo' từ hư vô. Về mặt tốt, những màn ảo thuật như vậy là một hình thức giải trí, về mặt không tốt, đó là sự lợi dụng tính cả tin. Ý tưởng cho rằng vũ trụ sinh ra từ một trong 2 khả năng này hình như không lôi cuốn lắm; mặc dù vậy, có khi xem vũ trụ chủ yếu là sự giải trí lại mở ra một hướng tiếp cận đời sống tươi tắn và có ích hơn.

Voltaire (b. 1694 Paris, d. 1778 Paris) đã công bố một luận điểm chống lại sự sáng tạo thường được sử dụng trong quá khứ: ta không biết là sự sáng tạo đã xảy ra hay chưa. Ngày nay tình hình đã thay đổi: ta *biết chắc* rằng nó đã *không* xảy ra vì sáng tạo là một loại chuyển động và như ta sẽ thấy trong phần kết luận của hành trình lên đỉnh, chuyển

động không hiện hữu ở thời điểm gần big bang.

Có thể bạn đã nghe phát biểu 'sự sáng tạo của các định luật tự nhiên'? Nó là một trong những thí dụ thường gặp nhất trong việc đưa ra thông tin sai lạc. Trước tiên, phát biểu này nhầm 'các định luật' với chính thiên nhiên. *Sự mô tả không giống với vật được mô tả*; mọi người đều biết rằng việc thổ lộ tình yêu bằng cách mô tả một bông hồng khác với việc trao tặng một bông hồng thực sự. Thứ hai, phát biểu này hàm ý rằng thiên nhiên thể hiện như vậy vì nó 'buộc' phải tuân theo 'các định luật' – một quan niệm ấu trĩ và sai lầm. Thứ ba, phát biểu này giả định rằng có thể 'tạo ra' sự mô tả thiên nhiên. Nhưng một 'định luật' là một mô tả và ta không thể tạo ra sự mô tả bằng việc định nghĩa: vì vậy phát biểu này vô nghĩa. Phát biểu 'sự sáng tạo các định luật tự nhiên' là một hình ảnh thu nhỏ của tư duy sai lầm.

Có thể việc gọi một nghệ sĩ vĩ đại là 'sáng tạo' hay 'thần thánh', như đã thường làm trong Thời phục hưng, không phải là hồ đồ, nhưng việc tôn sùng thần thánh thì đúng là như vậy. Đúng ra khi ta sử dụng thuật ngữ 'sáng tạo' để nói về một điều khác hơn sự chuyển động là ta đang loại bỏ cả sự quan sát lẫn sự lý luận của con người. 'Sự sáng tạo' là một trong những giả khái niệm sau cùng của thời đại chúng ta; không có chuyên gia về chuyển động nào được quên điều này. Ta không thể hoàn thành cuộc thám hiểm mà không loại bỏ 'sự sáng tạo'. Điều này không phải là dễ dàng. Ta sẽ gặp nhiều toan tính lấy lại khái niệm sáng tạo, trong việc nghiên cứu entropy, sự tiến hoá sinh học và Thuyết lượng tử. Quyển V, trang 319

> Mỗi hành động sáng tạo trước tiên là một hành động phá huỷ.
>
> Pablo Picasso

Thiên nhiên có được thiết kế hay không?

> Vào lúc ban đầu vũ trụ đã được tạo ra. Điều này đã làm cho nhiều người giận dữ và đã được xem là một nước đi không hay.
>
> Douglas Adams, *The Restaurant at the End of the Universe.*

Khuynh hướng từ sự hiện hữu của một vật rồi suy ra rằng việc sáng tạo ra nó là có chủ ý, khá phổ biến. Nhiều người đi tới kết luận này mỗi lần họ nhìn thấy một cảnh đẹp. Thói quen này bắt nguồn từ bộ ba thành kiến là: một cảnh đẹp hàm ý một sự mô tả phức tạp, cần đến sự hướng dẫn việc tạo dựng phức tạp và do đó phải dựa trên một *bản thiết kế*.

Chuỗi ý tưởng này chứa nhiều điều sai lầm. Thứ nhất, nhìn chung, vẻ đẹp không phải là hệ quả của sự phức tạp. Thường thì ngược lại: thật vậy, việc nghiên cứu sự hỗn độn và sự tự tổ chức đã cho thấy các hình dạng và các kiểu thức phức tạp đẹp đẽ có thể được tạo ra bằng các mô tả cực kỳ đơn giản. Xem 288 Quyển I, trang 414

Điều đó đúng vì phần lớn các nghệ phẩm của loài người, những mô tả phức tạp thật ra chỉ dẫn tới các quá trình xây dựng phức tạp; PC là một thí dụ hay về vật phức tạp với một quá trình sản xuất phức tạp. Nhưng trong thiên nhiên lại không có mối liên hệ này. Ta đã thấy ở trên là ngay cả lượng thông tin cần thiết để tạo dựng nên một con người thì ít hơn thông tin lưu trữ trong não bộ gần 1 000 000 lần. Kết quả tương tự cũng đã được người ta tìm thấy trong kết cấu của thực vật và trong nhiều thí dụ khác về các kiểu thức trong thiên nhiên. Sự mô tả đơn giản ẩn sau sự phức tạp biểu kiến của thiên nhiên đã

và đang được khám phá qua sự nghiên cứu về sự tự tổ chức, sự hỗn độn, nhiễu loạn và các hình fractal. Trong thiên nhiên, cấu trúc phức tạp thường dẫn xuất từ các quá trình *đơn giản*. Hãy cẩn thận với những người nói rằng thiên nhiên có 'độ phức tạp vô hạn' hay 'độ phức tạp cao': trước tiên, độ phức tạp không phải là một thực thể đo được, mặc dù đã có nhiều người cố gắng định lượng nó. Ngoài ra, mọi phức hệ đã biết đều có thể được mô tả bằng một số (tương đối) ít các tham số và phương trình đơn giản. Sau cùng, không có gì trong thiên nhiên là vô hạn.

Sai lầm thứ 2 trong lập luận về sự thiết kế là liên kết sự mô tả với 'sự hướng dẫn' và có lẽ ngay cả việc tưởng tượng rằng có một số 'trí thông minh' đang kéo những sợi dây của sân khấu thế giới. Việc tìm hiểu thiên nhiên đã cho ta thấy một cách nhất quán rằng không có sự thông minh ẩn giấu và không có sự hướng dẫn phía sau những quá trình của thiên nhiên. Sự hướng dẫn là một danh sách các lệnh dành cho những người thi hành. Nhưng không có mệnh lệnh trong thiên nhiên và không có người thi hành. Không có 'các định luật' của thiên nhiên, chỉ có sự mô tả các quá trình. Không có ai đang xây dựng một cái cây; cây là thành quả của chuyển động của các phân tử tạo nên nó. Gene trong cây chứa thông tin; nhưng không có phân tử nào nhận lệnh. Những điều hình như là lệnh đối với chúng ta chỉ là các chuyển động tự nhiên của các phân tử và năng lượng, được mô tả bằng cùng một kiểu thức, xảy ra trong các hệ vô cơ. Toàn bộ tư tưởng về lệnh – giống như các 'định luật' của thiên nhiên – là một ý thức hệ, nảy sinh từ một sự tương đồng với chế độ quân chủ hay ngay cả chuyên chế và một thuyết nhân hình.

Sai lầm thứ 3 là đề nghị rằng một sự mô tả phức tạp đối với một hệ thống sẽ dẫn tới một bản thiết kế làm nền tảng. Điều này không đúng. Một mô tả phức tạp chỉ hàm ý rằng hệ thống có một sự tiến hoá dài sau nó. Nếu suy diễn đúng phải là: có một thực thể nào đó có độ phức tạp cao; do đó nó đã *tăng trưởng*, tức là nó đã biến đổi thông qua nhập liệu có năng lượng (vừa phải) theo thời gian. Lý luận này áp dụng cho hoa, núi, sao, đời sống, con người, đồng hồ đeo tay, sách, PC và các tác phẩm nghệ thuật; đúng ra nó áp dụng cho mọi vật trong vũ trụ. Sự phức tạp của môi trường quanh ta cho thấy, niên kỷ đáng kể của nó đã nhắc ta về sự ngắn ngủi của cuộc đời.

Việc không có sự phức tạp cơ bản trong thiên nhiên đã khẳng định một kết quả đơn giản: không có hiện tượng đơn giản nào trong thiên nhiên dẫn đến/đòi hỏi sự thiết kế hay sáng tạo. Mặt khác, sự đa dạng và cường độ của các hiện tượng trong thiên nhiên khiến cho ta vô cùng nể phục. Vẻ đẹp hoang dã của thiên nhiên cho ta thấy ta thực sự là một phần rất *nhỏ* của thiên nhiên, cả trong không gian lẫn thời gian.* Ta sẽ tìm hiểu kinh nghiệm này một cách chi tiết. Và ta sẽ thấy rằng phần còn lại vẫn còn rất nhiều điều chưa giải quyết được đối với các hiện tượng thiên nhiên và cũng là phần chủ yếu trong cuộc thám hiểm.

Quyển V, trang 319

> Có sự tách biệt giữa nhà nước và nhà thờ nhưng chưa có sự tách biệt giữa nhà nước và khoa học.
> Paul Feyerabend

* Việc tìm kiếm 'ý nghĩa' trong đời sống hay trong thiên nhiên là một phương thức, phức tạp và cần thiết, cố gắng đương đầu với tính chất nhỏ bé của sự hiện hữu của loài người.

Sự mô tả là gì?

> Trong lý thuyết, không có sự khác nhau giữa lý thuyết và thực hành. Trong thực hành thì có sự khác nhau.

Theo ngữ vựng tiêu chuẩn, mô tả một hiện tượng là một danh sách gồm nhiều chi tiết. Thí dụ trên về cá heo cho ta thấy rõ điều này. Nói cách khác, mô tả một hiện tượng là hoạt động phân loại nó, tức là so sánh, nhận dạng hay phân biệt, hiện tượng đó với các hiện tượng khác đã phân loại.

Trang 322

▷ Mô tả là phân loại.

Tóm lại, *mô tả là xem nó như một phần tử thuộc một tập hợp lớn hơn*.

Sự mô tả có thể so sánh với dấu 'bạn đang ở đây' trong bản đồ du lịch của một thành phố. Bên ngoài tập hợp các vị trí khả hữu, dấu 'bạn đang ở đây' cho ta vị trí thật. Tương tự như vậy, mô tả làm nổi bật trạng thái đã cho trong tất cả các trạng thái. Thí dụ như, công thức $a = GM/r^2$ là một mô tả của hiện tượng liên quan tới chuyển động do lực hấp dẫn vì nó phân loại gia tốc quan sát được a theo khoảng cách tới vật trung tâm r và khối lượng của nó M; thật ra một mô tả như vậy là xem một trường hợp đặc biệt như là một thí dụ của trường hợp tổng quát. Thói quen tổng quát hoá là lý do của sự tuỳ tiện gây ra lộn xộn của khoa học gia: khi họ quan sát điều gì đó, sự đào tạo chuyên nghiệp thường làm cho họ phân loại nó thành một trường hợp đặc biệt của hiện tượng đã biết và như vậy sẽ khiến cho họ không còn ngạc nhiên hay bị nó kích thích nữa.

Như vậy mô tả đối nghịch với *ẩn dụ*; cái sau là một sự liên hệ, theo tính chất tương tự, một hiện tượng với một trường hợp *đặc biệt* khác; mô tả là liên hệ một hiện tượng với một trường hợp *tổng quát*, thí dụ như một lý thuyết vật lý.

> Felix qui potuit rerum cognoscere causas,
> atque metus omnis et inexorabile fatum
> subjecit pedibus strepitumque acherontis avari.
> Vergilius*

Lý do, mục đích và sự giải thích

> Der ganzen modernen Weltanschauung liegt die Täuschung zugrunde, daß die sogenannten Naturgesetze die Erklärungen der Naturerscheinungen seien.**
> Ludwig Wittgenstein, *Tractatus*, 6.371

Hãy so sánh 2 loại câu hỏi và câu trả lời dưới đây:

* 'Người hạnh phúc là người có thể biết được nguyên nhân của mọi việc, không còn lo sợ và chịu trách nhiệm về số phận của mình.' *Georgica*, book II, verses 490 ss. Publius Vergilius Maro (b. 70 Mantua, d. 19 BCE Brindisi), nhà thơ vĩ đại La Mã, tác giả của Aeneid. Acheron là dòng sông mà người mới qua đời phải đi qua trên đường tới chầu Diêm chúa.

** 'Toàn bộ khái niệm hiện đại về thế giới được đặt nền tảng trên ảo giác, đó là các định luật tự nhiên, là sự giải thích các hiện tượng thiên nhiên.'

1. Tại sao phần lớn lá cây có màu lục? Vì chúng hấp thu ánh sáng đỏ và xanh. Tại sao chúng hấp thu những màu đó? Vì chúng chứa chlorophyll. Tại sao chlorophyll lại có màu lục? Vì mọi loại chlorophyll đều chứa magnesium giữa 4 nhóm pyrrole và hoá chất này cho màu xanh lục do các mức năng lượng cơ lượng tử của chúng. Tại sao cây cỏ chứa chlorophyll? Vì đây là chất mà cây trồng dưới đất có thể tổng hợp được. Tại sao chỉ những chất này? Vì mọi cây trồng dưới đất đã tiến hoá từ lục tảo là thực vật chỉ có thể tổng hợp được hợp chất này và không tổng hợp được các hợp chất trong tảo xanh hay tảo đỏ ở biển.
2. Tại sao trẻ em leo lên cây và tại sao một số người lại leo núi? Vì những cảm giác mà họ có được trong hoạt động này: cảm giác thành công, hành động có tính chất biểu tượng cho đi lên, ước muốn nhìn thấy một thế giới rộng lớn hơn là một phần của loại thám hiểm này.

Hai loại câu hỏi 'tại sao' cho ta thấy sự khác nhau giữa lý do và mục đích (mặc dù không phải mọi người đều định nghĩa hai thuật ngữ này theo những cách như nhau). *Mục đích* hay *ý định* là một sự phân loại áp dụng cho các hành động của người hay vật; nói một cách chặt chẽ, nó xác định cuộc hành trình tìm kiếm cảm giác, cụ thể là đạt được một số điều thoả mãn sau khi hoàn tất công việc. Còn *lý do* là một quan hệ đặc biệt của một sự kiện với phần còn lại của vũ trụ và thường là quá khứ của nó. Điều mà ta gọi là lý do luôn luôn nằm bên ngoài hiện tượng, trong khi mục đích luôn luôn ở bên trong nó.

Lý do và mục đích là 2 khả năng giải thích, tức là hai câu trả lời khả hữu cho những câu hỏi bắt đầu bằng 'tại sao'. Thường thì Vật lý không có liên quan tới mục đích hay cảm giác của con người, chủ yếu là vì ý định ban đầu của nó, nói về chuyển động một cách chính xác, hình như không thể đạt tới được. Do đó, sự giải thích các sự kiện *về mặt vật lý* không bao giờ là mục đích mà luôn luôn là lý do.

Xem 289

▷ Một *sự giải thích vật lý* của một hiện tượng luôn luôn là sự mô tả mối liên hệ của nó với phần còn lại của thiên nhiên.

Ta nên nhớ rằng *không được* gạt mục đích qua một bên vì chúng gắn liền với tương lai mà vì đó là một sự nhân hình hoá không thể chấp nhận được. Đúng ra đối với một hệ tất định, ta có thể nói rằng tương lai thực sự là một *lý do* cho hiện tại lẫn quá khứ - một sự kiện thường bị quên lãng.

Một câu hỏi bắt đầu bằng 'tại sao' thì gần gũi với sự nghiên cứu trong vật lý miễn là nó hỏi về lý do chứ không hỏi mục đích. Đặc biệt, những câu hỏi như 'tại sao hòn đá rơi xuống chứ không rơi lên trên?' hay 'tại sao electron có khối lượng như vậy và tại sao lại có khối lượng?' hay 'tại sao không gian có 3 chiều mà không là 36 chiều?' có thể trả lời được vì chúng hỏi về mối liên hệ giữa các hiện tượng đặc biệt và các hiện tượng tổng quát hơn. Dĩ nhiên không phải mọi yêu cầu giải thích đều đã được trả lời và vẫn còn những vấn đề phải giải quyết. Con đường hiện tại của chúng ta chỉ nối từ một vài câu trả lời tới một số câu hỏi cơ bản hơn về chuyển động.

Cuộc hành trình tìm kiếm sự giải thích tổng quát nhất dẫn xuất từ câu hỏi này: tại sao vũ trụ lại như vậy? Chủ đề này được giải quyết trong cuộc hành trình lên đỉnh của chúng ta bằng cách sử dụng 2 cách tiếp cận thông thường.

Sự thống nhất và sự phân định

> Tout sujet est un; et, quelque vaste qu'il soit, il peut être renfermé dans un seul discours.*
> Buffon, *Discours sur le style*.

Khi nghiên cứu các tính chất của chuyển động, thường tập trung vào việc gia tăng độ chính xác của sự mô tả, ta thấy rằng sự giải thích thường chia ra 2 loại:**

1. 'Mọi trường hợp đều như nhau; trường hợp này cũng có thể được mô tả bởi ...' Trường hợp này được xem như *trường hợp đặc biệt* của một trường hợp tổng quát.
2. 'Nếu điều này xảy ra khác đi ta sẽ có một kết luận mâu thuẫn với sự quan sát.' Trường hợp này được xem như *trường hợp duy nhất*.***

Nói cách khác, phương thức đầu tiên để tìm ra sự giải thích là thiết lập các kiểu thức, quy luật hay 'định luật' mô tả càng ngày càng nhiều các hiện tượng và so sánh sự quan sát với chúng. Nỗ lực này được những người ưa chuộng nó gọi là *sự thống nhất* Vật lý; người không thích thì gọi nó là 'giản hoá luận'. Thí dụ như, sự chuyển động của một quả banh tennis, của thuỷ triều ở bờ biển, thời gian của thời kỳ băng hà, thời gian Kim tinh không còn là sao hôm và trở thành sao mai đều được mô tả bằng một quy luật như nhau. Tất cả những quá trình này là hệ quả của sự hấp dẫn vạn vật. Tương tự như vậy, nhưng không hiển nhiên, là có cùng một quy luật mô tả nguồn gốc màu của mắt, sự tạo ra tia sét, sự tiêu hoá thức ăn và sự hoạt động của não bộ. Những quá trình này được mô tả bằng Điện động lực học lượng tử.

Sự thống nhất đạt được sự thành công ấn tượng nhất khi nó tiên đoán được các hiện tượng chưa xảy ra trước đó. Một thí dụ nổi tiếng là sự hiện hữu của phản vật chất, do Dirac tiên đoán khi ông nghiên cứu lời giải của phương trình mô tả hành trạng chính xác của vật chất thông thường.

Phương thức thứ hai trong việc tìm kiếm sự giải thích là loại bỏ mọi khả năng thay thế khác với sự giải thích thực sự đúng. Nỗ lực này không có tên được công nhận chung: có thể gọi nó là *sự phân định* của các 'định luật' Vật lý – theo những người thích tên đó; người khác thì gọi nó là 'vị nhân luận', hay đơn giản là 'sự kiêu căng'.

Khi ta khám phá ra là ánh sáng du hành tới đích với thời gian ngắn nhất, khi ta mô tả chuyển động bằng nguyên lý tác dụng cực tiểu hay khi ta khám phá ra là cây cối phân nhánh theo phương thức để đạt được tính hiệu quả lớn nhất với ít nỗ lực nhất, là ta đang sử dụng quan điểm phân định.

Tóm lại, sự thống nhất, trả lời cho câu hỏi 'tại sao' và sự phân định trả lời cho câu hỏi 'tại sao không', là điển hình cho sự tiến bộ trong lịch sử Vật lý. Ta có thể nói rằng hai mặt

* Mọi chủ để đều là một chủ đề, tuy rất bao la, nhưng ta có thể bao gồm chúng chỉ trong một bài thuyết trình.

Câu đố 311 s ** Đây có phải là khả năng duy nhất không?

*** Đừng nhầm 2 trường hợp này với 2 câu tương tự *có vẻ như* là sự giải thích nhưng không phải:

— 'Nó giống như trường hợp ...' Một sự tương tự với một trường hợp *đơn lẻ* khác *không phải là* một lời giải thích.
— 'Nếu nó khác đi, nó sẽ mâu thuẫn với ý tưởng ...' Một sự mâu thuẫn với một *ý tưởng* hay một lý thuyết *không phải là* một lời giải thích.

đối ngẫu của sự thống nhất và sự phân định tạo thành các đặc điểm tạo tác và đối kháng của Vật lý. Chúng đại diện cho niềm khao khát *biết rõ về mọi vật*.

Tuy vậy, sự phân định cũng như sự thống nhất không thể giải thích toàn thể vũ trụ. Câu đố 312 s Bạn có hiểu tại sao không? Đúng ra, không kể sự thống nhất và phân định, vẫn còn một khả năng thứ 3 trộn lẫn cả hai và cho phép ta nói nhiều hơn về vũ trụ. Bạn có thể tìm ra Câu đố 313 s nó không? Cuộc du hành của chúng ta sẽ tự động hướng đến đó.

Heo, khỉ và nguyên lý vị nhân

> Das wichtigste Hilfsmittel des Wissenschaftlers ist der Papierkorb.*
>
> Nhiều tác giả

Ước muốn đạt được sự phân định các kiểu thức thiên nhiên sẽ thú vị nhất khi ta bám theo các hệ quả của các quy luật thiên nhiên khác nhau cho tới khi ta tìm thấy chúng mâu thuẫn với hiện tượng đáng chú ý nhất: chính sự hiện hữu của con người. Trong trường hợp đặc biệt này chương trình phân định thường được gọi là *nguyên lý vị nhân* – từ tiếng Hy Lạp ἄνθρωπος, có nghĩa là 'người'. Có thực là ta có thể suy ra mọi tính chất của thiên nhiên từ chính sự hiện hữu của chúng ta hay không?

Thí dụ như nếu khoảng cách Mặt trời-Trái đất khác với hiện nay, sự thay đổi nhiệt độ trên Trái đất sẽ làm cho sự sống không thể xuất hiện, vì cần có nước ở thể lỏng. Tương tự như vậy, não của chúng ta sẽ không hoạt động nếu Mặt trăng không chuyển động quanh Trái đất. Người ta cũng đã biết rằng nếu số hành tinh trong Thái dương hệ ít hơn thì loài người không thể tiến hoá. Các hành tinh lớn đã làm chệch hướng các sao chổi, không cho chúng đụng vào Trái đất. Sự va chạm ngoạn mục của sao chổi Shoemaker–Levy-9 với Mộc tinh, hiện tượng thiên văn vào tháng 7/1994, là một thí dụ của việc làm lệch hướng sao chổi này.**

Nguyên lý vị nhân cũng có các thành công ấn tượng nhất khi nó tiên đoán được các hiện tượng chưa biết. Thí dụ nổi tiếng nhất bắt nguồn từ sự nghiên cứu các ngôi sao. Các nguyên tử carbon, giống như các nguyên tử khác trừ các nguyên tử hydrogen, helium hay lithium, được tạo thành trong các ngôi sao thông qua sự dung hợp hạt nhân. Trong khi nghiên cứu cơ chế dung hợp trong năm 1953, nhà vật lý thiên văn nổi tiếng Fred Hoyle*** đã nhận thấy rằng các hạt nhân carbon không thể được tạo thành từ các hạt alpha có mặt trong ngôi sao ở những nhiệt độ hợp lý trừ khi chúng ở trạng thái kích thích với một thiết diện ngang tăng lên. Từ sự hiện hữu của chúng ta, dựa trên carbon, Hoyle đã tiên đoán sự hiện hữu của các trạng thái kích thích chưa biết trước đó của hạt Xem 290 nhân carbon. Và thật vậy, vài tháng sau đó Willy Fowler đã tìm thấy chúng.****

* 'Dụng cụ quan trọng nhất của khoa học gia là giỏ rác.'
** Về bộ hình ảnh của sự kiện này hãy ghé thăm website garbo.uwasa.fi/pc/gifslevy.html.
*** Fred Hoyle (b. 1915 Bingley, d. 2001 Bournemouth), nhà vật lý thiên văn và thiên văn gia quan trọng, người đầu tiên và có lẽ là vật lý gia duy nhất đã có một tiên đoán đặc biệt – cụ thể là sự hiện hữu của trạng thái kích thích của hạt nhân carbon – từ sự hiện hữu của con người. Là một người khác thường, ông đã tạo ra thuật ngữ 'big bang' mặc dù ông không công nhận những bằng chứng về chúng và đã đề nghị một kiểu thức khác, 'trạng thái bền vững'. Nghiên cứu nổi tiếng và quan trọng nhất của ông là về sự thành lập các nguyên tử trong ngôi sao. Ông cũng quảng bá tư tưởng về sự sống được mang đến Trái đất từ các vi sinh vật ngoài Trái đất.
**** William A. Fowler (b. 1911 Pittsbrugh, d. 1995 Pasadena) đã nhận giải Nobel Vật lý 1983 cùng với Subramanyan Chandrasekhar do công trình này và các khám phá có liên quan.

Xem 291 Trình bày dưới dạng *nghiêm túc*, ta có:

▷ Nguyên lý vị nhân là cuộc tìm kiếm một sự mô tả thiên nhiên đầy đủ từ các dữ kiện thực nghiệm về sự hiện hữu của con người.

Như vậy nguyên lý vị nhân không phải là một nguyên lý. Tốt hơn ta nên gọi nó là *Sự truy tìm vị nhân* hay *giả định vị nhân*.

Điều không may là trong tài liệu phổ thông nguyên lý vị nhân thường được đổi từ truy tìm thành một cách hiểu *sai lạc*, một nồi 'lẩu' các tư tưởng siêu hình vô lý trong đó con người được trộn lẫn với niềm tin ưa thích của họ. Điều thường gặp nhất, các quan sát thực nghiệm về sự hiện hữu của con người đã làm cho ta đi lạc qua việc quay lại ý tưởng 'thiết kế', nghĩa là vũ trụ được tạo ra để sản xuất con người. Người ta thường cho rằng nguyên lý vị nhân là một *sự giải thích* các quy luật thiên nhiên – một điển hình về sự thông tin sai lạc.

Làm sao để ta có thể phân biệt giữa hai dạng nghiêm túc và sai lầm? Ta hãy bắt đầu với một thí nghiệm. Ta sẽ thu được đúng ngay các quy luật và kiểu thức thiên nhiên tương tự nếu ta sử dụng sự hiện hữu của heo và khỉ làm khởi điểm. Nói cách khác, nếu ta đạt tới các kết luận *khác nhau* bằng cách sử dụng *nguyên lý vị trư* hay *nguyên lý vị hầu* tức là ta đang sử dụng các dạng sai lầm của nguyên lý vị nhân còn ngược lại ta đang sử dụng dạng nghiêm túc. (Câu chuyện carbon-12 là một thí dụ về dạng nghiêm túc.) Sự kiểm chứng này khá hiệu quả vì không có kiểu thức hay 'định luật' của thiên nhiên nào đặc biệt dành cho con người mà lại không cần cho heo hay khỉ.* Có thể vào một ngày nào đó có một máy tính bắt đầu nói về 'nguyên lý vị máy tính'. Đó là một thí dụ khác về dạng sai lầm.

> “Er wunderte sich, daß den Katzen genau an den Stellen Löcher in den Pelz geschnitten wären, wo sie Augen hätten.**”
>
> Georg Christoph Lichtenberg

Ta có cần nguyên nhân và hậu quả trong sự giải thích không?

> “Trong thiên nhiên không có thưởng, phạt – chỉ có các hệ quả.”
>
> Robert Ingersoll

> “Thế giới không nợ bạn điều gì. Nó có mặt đầu tiên.”
>
> Mark Twain

* Mặc dù khỉ hình như không phải là các nhà Vật lý giỏi như đã được D. J. Povinelli, mô tả trong quyển sách *Folk Physics for Apes: the Chimpanzee's Theory of How the World Works*, Oxford University Press, 2000.

** 'Ông ta đã kinh ngạc khi thấy mèo có những lỗ nằm trong bộ lông của chúng đúng ngay chỗ mà chúng có mắt.' Georg Christoph Lichtenberg (b. 1742 Ober-Ramstadt, d. 1799 Göttingen), vật lý gia và trí giả, giáo sư ở Göttingen, vẫn còn nổi tiếng cho tới nay về các điển ngôn cùng các câu châm biếm phong phú và hóm hỉnh của mình. Vào thời đó, Lichtenberg đã chế nhạo tất cả những người luôn cho rằng vũ trụ đã được tạo ra đúng với số đo của con người, một tư tưởng thường gặp trong thế giới mờ ảo của nguyên lý vị nhân.

“Bất chấp bạn là người hiểm ác, thô bỉ, hay xấu xa cỡ nào, mỗi lần bạn thở là bạn đã làm cho một bông hoa hạnh phúc.”

Mort Sahl

Xem 292

Về mặt lịch sử hai từ 'nguyên nhân' và 'hậu quả' đã đóng một vai trò quan trọng trong triết học. Các thuật ngữ này gắn liền với các quá trình hay các hiện tượng nào đó. Đặc biệt, trong việc khai sinh Cơ học hiện đại, điều quan trọng là chỉ ra mọi hậu quả có nguyên nhân, để phân biệt các tư tưởng chính xác với các tư tưởng dựa trên niềm tin, như 'điều kỳ diệu', 'điều bất ngờ thần thánh' hay 'sự tiến hoá từ hư vô'. Người ta chủ yếu nhấn mạnh rằng hậu quả khác với nguyên nhân; sự phân biệt này tránh được các giải thích giả hiệu như thí dụ nổi tiếng của Molière khi bác sĩ giải thích cho bệnh nhân bằng các thuật ngữ khó hiểu rằng thuốc ngủ công hiệu vì chúng chứa 'đức hạnh ru ngủ'.

Nhưng trong Vật lý, khái niệm nguyên nhân và hậu quả không được sử dụng một chút nào cả. Những điều kỳ diệu không xuất hiện trong mỗi lần ta sử dụng đến phép đối xứng, các định lý bảo toàn hay các quy luật của thiên nhiên. Việc nguyên nhân và hậu quả khác nhau thường gặp trong các phương trình tiến hoá. Ngoài ra, các khái niệm nguyên nhân và hậu quả không được định nghĩa rõ ràng; thí dụ như, ta rất khó xác định những điều tương phản với chúng. Ta không thể định lượng hay đo được cả hai. Nói cách khác, 'nguyên nhân' và 'hậu quả' có thể có ích về phương diện cá nhân hay đời sống hằng ngày, chứ chúng không cần thiết trong Vật lý. Trong cuộc thám hiểm chuyển động, nguyên nhân và hậu quả không có vai trò gì cả.

“Ἀγαθον καὶ ξαξόν · ἔν καὶ ταὐτό.*”

Heraclitus

“Wenn ein Arzt hinter dem Sarg seines Patienten geht, so folgt manchmal tatsächlich die Ursache der Wirkung.**”

Robert Koch

Có cần ý thức không?

“Variatio delectat.***”

Cicero

Xem 293

Nhiều lý luận tầm thường đã đề cập tới ý thức và ở đây ta sẽ bỏ qua chúng. Ý thức là gì? Nói một cách đơn giản và cụ thể nhất, ý thức có nghĩa là sự sở hữu một phần nhỏ của con người đang quan sát những điều mà phần còn lại của họ đang nhận thức, cảm giác, suy nghĩ và hành động. Tóm lại, ý thức là khả năng tự quan sát và đặc biệt là các hoạt động và động lực bên trong một con người.

▷ *Ý thức* là khả năng nội quan.

* 'Cái tốt và cái xấu – là một và giống nhau.'
** 'Khi một bác sĩ đi sau quan tài của bệnh nhân, thì thực ra có đôi khi nguyên nhân lại đi theo hậu quả.'
*** 'Sự thay đổi tạo sự hài lòng.' Marcus Tullius Cicero (b. 106 Arpinum, d. 43 BCE Formiae), luật sư, nhà hùng biện và chính trị gia cuối thời cộng hoà La Mã.

Định nghĩa của ý thức giải thích cho lý do tại sao thấu hiểu một vấn đề là điều khó khăn. Thật vậy, việc quan sát ý thức của mình đồng nghĩa với việc nội quan phần của chúng ta đang quan sát phần còn lại của chính mình. Đây là một việc hình như bất khả thi, độc lập với việc ý thức là phần cứng hay phần mềm trong não bộ. Tính bất khả này là nền tảng của sự thôi miên, sự bí mật của ý thức và của bản chất con người chúng ta.

Định nghĩa ý thức cho chúng ta biết rằng *không cần* điều kiện tiên quyết trong việc nghiên cứu chuyển động. Thật vậy, động vật, thực vật hay máy móc cũng có thể quan sát chuyển động vì chúng có các cảm biến tức là các thiết bị đo lường. Với cùng một lý do như vậy, ta *không* cần ý thức để quan sát chuyển động cơ lượng tử, mặc dù sự đo đạc thì cần. Mặt khác, sự thám hiểm chuyển động và tự thám hiểm có nhiều điểm chung: nhu cầu quan sát cẩn thận, vượt qua các thành kiến, sự sợ hãi và niềm hoan lạc đạt được khi thực hiện những điều đó.

Quyển IV, trang 144

Đến đây, ta đã nói đầy đủ về sự chính xác của các khái niệm. Nói về chuyển động là một điều hết sức thú vị. Ta hãy tìm hiểu lý do.

> “Sự chính xác và minh bạch tuân theo hệ thức bất định: tích của chúng không đổi.”
>
> Niels Bohr

Tính hiếu kỳ

> “Sự chính xác là con của tính hiếu kỳ.”

Giống như tiểu sử của mỗi người, lịch sử của loài người cũng vẽ nên một cuộc đấu tranh lâu dài về việc tránh né các cạm bẫy của việc công nhận các phát biểu của những người có thẩm quyền là chân lý mà không kiểm tra các sự kiện. Thật vậy, khi sự tò mò gợi cho ta một câu hỏi, luôn luôn có 2 cách tổng quát để xử lý. Một là tự kiểm tra sự kiện, hai là hỏi người khác. Tuy vậy, cách sau khá nguy hiểm: nó đồng nghĩa với việc từ bỏ một phần của chính mình. Người khoẻ mạnh, trẻ em vốn có tính hiếu kỳ, cũng như các nhà khoa học, đã chọn cách đầu. Nói cho cùng, khoa học bắt nguồn từ tính hiếu kỳ của người trưởng thành.

Tính hiếu kỳ, còn được gọi là *động lực tìm kiếm*, có vai trò khác thường đối với con người. Khởi đi từ kinh nghiệm ban đầu về thế giới giống như một chén ‘soup’ lớn của các thành phần tương tác, tính hiếu kỳ có thể khiến cho người ta tìm được *tất cả* các thành phần và *tất cả* các tương tác. Nó không chỉ điều khiển con người. Người ta đã thấy rằng khi chuột có thái độ tò mò, các tế bào não trong vùng dưới đồi trở nên hoạt động và các hormone bí mật đã tạo ra các cảm giác và cảm xúc tích cực. Nếu một con chuột có khả năng, thông qua một số điện cực, kích thích những tế bào giống như vậy bằng cách nhấn vào một công tắc, nó sẽ làm một cách tự nguyện: chuột đã *nghiện* cảm giác liên kết với tính tò mò. Giống như chuột, người cũng tò mò vì họ thích điều đó. Họ làm như vậy theo ít nhất là 4 cách: vì họ là nghệ sĩ, vì họ thích sự hỉ lạc, vì họ là những kẻ thích phiêu lưu và vì họ là những người mơ mộng. Chúng ta hãy xem việc này diễn ra như thế nào.

Xem 294

Khởi đầu, tính hiếu kỳ bắt nguồn từ sự ham muốn tương tác với môi trường theo một cách tích cực. Trẻ em cho ta một thí dụ thích hợp: hiếu kỳ là một phần tự nhiên trong đời sống của chúng, cũng giống như các động vật hữu nhũ và một vài loài chim khác; tình cờ, sự phân bố theo loài tương tự cũng được tìm thấy trong thái độ chơi đùa. Tóm

lại, đối với mọi động vật chơi là tò mò và ngược lại. Tính hiếu kỳ cung cấp nền tảng cho việc học, sáng tạo tức là cho mọi hoạt động của loài người và để lại một di sản như nghệ thuật hay khoa học. Nhà điêu khắc và lý thuyết gia về nghệ thuật Joseph Beuys đã có một nguyên lý hướng dẫn riêng của ông là *mọi* hoạt động sáng tạo đều là một dạng của nghệ thuật. Con người và đặc biệt là trẻ em, rất hiếu kỳ vì họ cảm nhận được sự quan trọng của sự sáng tạo và nói chung là sự sinh trưởng.

Xem 295

Tính hiếu kỳ thường làm cho người ta kêu lên: 'Oh!', một kinh nghiệm dẫn đến lý do thứ 2 của tính hiếu kỳ: yêu thích cảm giác của điều kỳ diệu và sự ngạc nhiên. Epicurus (Epikuros) (b. 341 Samos, d. 271 BCE Athens) cho rằng kinh nghiệm này, θαυμάζειν, là nguồn gốc của Triết học. Những cảm giác này, hiện nay được gọi bằng nhiều tên khác nhau, là tôn giáo, tinh thần, thiêng liêng, v.v..., giống như cảm giác mà các con chuột đã nghiện. Trong những cảm giác này, Rudolf Otto đã đưa ra cách phân biệt cổ điển là lôi cuốn và kinh khủng. Ông đặt tên cho những kinh nghiệm tương ứng là 'mysterium fascinans' và 'mysterium tremendum'.* Trong sự phân biệt này, các nhà vật lý, khoa học gia, trẻ em và người sành điệu có chỗ đứng rõ ràng: họ chọn sự mê hoặc làm khởi điểm cho hành động và cách tiếp cận thế giới. Những cảm giác mê đắm như vậy tạo ra những đứa trẻ nhìn bầu trời đêm để mơ thành thiên văn gia, người nhìn qua kính hiển vi mơ thành nhà sinh vật học và vật lý gia, v.v... (Di truyền học cũng có thể có vai trò trong niềm hỉ lạc của việc kiếm tìm sự mới lạ.)

Xem 296

Có lẽ thời khắc đẹp đẽ nhất trong việc nghiên cứu Vật lý là những sự kiện xuất hiện sau những thí nghiệm mới đã khuấy động thói quen suy nghĩ trước kia của chúng ta, buộc chúng ta từ bỏ niềm tin trước đó và đem lại cảm giác bị mất mát. Trong thời điểm khủng hoảng này, sau cùng ta đã khám phá ra một sự mô tả thích hợp và chính xác hơn về các điều quan sát được, nó cho ta một sự thấu hiểu về thế giới và ta đã chạm mạnh vào một cảm giác thường được gọi là sự khai sáng. Người đã giữ được những ký ức và hương vị của thời khắc thần diệu này đều biết rằng trong trạng thái đó, người ta bị tràn ngập bởi một cảm giác hợp nhất giữa bản thân và thế giới.** Niềm hoan lạc của thời khắc này, cuộc phiêu lưu của sự thay đổi cấu trúc tư tưởng gắn liền với chúng và niềm vui của sự thấu hiểu kèm theo, đã cung cấp động lực cho nhiều khoa học gia. Nói ít và vui nhiều là điểm chung của chúng. Theo tinh thần này, vật lý gia nổi tiếng Victor Weisskopf (b. 1908 Vienna, d. 2002 Newton) thích nói đùa rằng: 'Có 2 điều làm cho cuộc đời đáng sống: Mozart và Cơ học lượng tử.'

Sự lựa chọn rời xa sự sợ hãi hướng về sự đam mê bắt nguồn từ một ham muốn bẩm sinh, thấy rõ nhất ở trẻ em, là làm giảm sự bất định và sự lo sợ. Động lực này sinh ra mọi cuộc phiêu lưu. Có một người nổi tiếng trong thời cổ Hy Lạp, nơi con người đầu tiên nghiên cứu các hiện tượng, là Epicurus, phát biểu một cách rõ ràng rằng mục đích của họ là giải phóng con người khỏi sự lo sợ không cần thiết bằng cách đào sâu kiến thức và biến đổi con người từ những nạn nhân thụ động, lo âu thành những người có trách

* Sự phân biệt này là nền tảng của tác phẩm RUDOLF OTTO, *Das Heilige – Über das Irrationale in der Idee des Göttlichen und sein Verhältnis zum Rationalen*, Beck 1991. Đây là ấn bản mới của một tác phẩm mang tính lịch sử được phát hành vào đầu thế kỷ 20. Rudolf Otto (b. 1869 Peine, d. 1937 Marburg) là một trong các nhà thần học quan trọng nhất trong thời kỳ đó.

** Nhiều nhà nghiên cứu đã tìm hiểu chi tiết các trạng thái dẫn đến các thời khắc thần diệu này, đáng chú ý là bác sĩ và vật lý gia Hermann von Helmholtz (b. 1821 Potsdam, d. 1894 Charlottenburg) và toán gia Henri Poincaré (b. 1854 Nancy, d. 1912 Paris). Họ phân biệt 4 giai đoạn trong sự nhận thức một ý tưởng cơ bản của thời khắc thần diệu như vậy: bão hoà, ấp ủ, khai sáng và xác minh.

Xem 297

nhiệm, chủ động và nhiệt tình. Những nhà tư tưởng thời cổ là những người đầu tiên phổ biến tư tưởng cho rằng, giống như các biến cố thông thường trong cuộc đời, các biến cố hiếm hoi cũng tuân theo các quy luật. Thí dụ như, Epicurus nhấn mạnh rằng sét là hiện tượng thiên nhiên được tạo ra do sự tương tác giữa các đám mây và nó là các quá trình tự nhiên, tức là một quá trình tuân theo các quy luật giống như sự rơi của một hòn đá hay bất kỳ một quá trình quen thuộc khác trong đời sống hằng ngày.

Bằng việc nghiên cứu hiện tượng chung quanh, các triết gia và các khoa học gia sau này đã thành công trong việc giải phóng con người khỏi sự sợ hãi được tạo ra do sự bất định và sự thiếu hiểu biết về thiên nhiên. Sự khai phóng này đóng một vai trò quan trọng trong lịch sử văn hoá của con người và vẫn còn tràn ngập trong tiểu sử của nhiều khoa học gia. Mục đích đi đến chân lý cơ bản và bền vững đã là nguồn cảm hứng (nhưng cũng là trở ngại) cho nhiều người; Albert Einstein là một thí dụ nổi tiếng cho điều này; khám phá ra Thuyết tương đối, ông đã giúp cho việc khai sinh nhưng rồi lại phủ nhận Cơ học lượng tử.

Điều thú vị là trong kinh nghiệm và sự phát triển của loài người, tính hiếu kỳ và do đó khoa học, xuất hiện *trước* sự kỳ diệu và sự mê tín. Sự kỳ diệu lấy việc lừa đảo làm hiệu quả và sự mê tín cần sự tuyên truyền; tính hiếu kỳ không cần cả hai điều này. Sự mâu thuẫn giữa tính hiếu kỳ và sự mê tín, ý thức hệ, quyền lực hay phần còn lại của xã hội đã được lập trình trước.

Tính hiếu kỳ là sự thám hiểm các giới hạn. Đối với mỗi giới hạn, có 2 khả năng: giới hạn có thể là thật hay biểu kiến. Nếu nó thật, thái độ có lợi nhất là chấp nhận nó. Sự tiếp cận sẽ cho ta sức mạnh. Nếu giới hạn chỉ là bề ngoài và không có thật, thái độ có lợi nhất là đánh giá lại quan điểm sai lầm, rút ra điểm tích cực mà nó đã đem lại và vượt qua giới hạn đó. Ta chỉ có thể phân biệt giữa giới hạn thực và biểu kiến khi giới hạn được xem xét một cách cẩn thận, cởi mở và không định kiến. Quan trọng nhất là việc thám hiểm các giới hạn cần sự can đảm.

> Das gelüftete Geheimnis rächt sich.*
> Bert Hellinger

Sự can đảm

> Il est dangereux d'avoir raison dans des choses où des hommes accrédités ont tort.**
> Voltaire

> Manche suchen Sicherheit, wo Mut gefragt ist, und suchen Freiheit, wo das Richtige keine Wahl läßt.***
> Bert Hellinger

Phần lớn tư liệu trong chương này cần cho việc hoàn tất cuộc thám hiểm. Nhưng ta cần
Xem 300 nhiều hơn. Giống như những công việc khó khăn bất kỳ, tính hiếu kỳ cũng cần sự can đảm và tính hiếu kỳ trọn vẹn, đã được xem là mục tiêu của cuộc hành trình, đòi hỏi sự

* 'Bí mật bị phơi bày sẽ trả thù.'
Xem 298 ** 'Điều nguy hiểm là ta đúng ở điểm mà người có quyền lực lại sai.'
*** 'Một số người tìm kiếm sự an toàn ở nơi cần sự can đảm và tìm kiếm sự tự do ở nơi mà phương thức
Xem 299 đúng không cho ta một sự lựa chọn nào khác.'

can đảm hoàn toàn. Đúng ra, việc mất tinh thần trong cuộc hành trình này rất dễ xảy ra. Cuộc tìm kiếm thường bị gạt bỏ do các nguyên nhân khác như sự vô ích, không thú vị, sự ngây ngô, khó hiểu, sự tổn hại, điên rồ hay ngay cả xấu xa và hình phạt đích đáng. Thí dụ như, giữa cái chết của Socrate năm 399 BCE và Paul-Henri Thiry, Baron d'Holbach, năm 1770, không có quyển sách nào có câu 'thượng đế không hiện hữu' vì sự đe doạ đến tính mạng của người dám làm điều này. Ngay cả ngày nay, thái độ này vẫn còn nhan nhản, như báo chí đã cho ta thấy.

Tính hiếu kỳ và hoạt động khoa học hoàn toàn tương phản với bất kỳ ý tưởng, con người hay tổ chức nào cố gắng tránh né việc so sánh các phát biểu với các quan sát. Những 'người tránh né' này cần phải sống với sự mê tín và niềm tin. Nhưng mê tín và niềm tin tạo ra sự sợ hãi không cần thiết. Và sự sợ hãi là nền tảng của mọi quyền lực bất công. Người ta vướng vào một vòng lẩn quẩn: tránh so sánh với các quan sát tạo ra sự sợ hãi – sự sợ hãi củng cố địa vị của quyền lực bất công – quyền lực này né tránh sự so sánh với quan sát – v.v...

Tính hiếu kỳ và khoa học tương phản rõ ràng với quyền lực bất công, mối liên kết này đã gây khó khăn cho cuộc sống của những người như Anaxagoras ở Hy Lạp cổ đại, Hypatia ở đế quốc thiên chúa giáo La Mã, Galileo Galilei với chính quyền Papal, Antoine Lavoisier trong cách mạng Pháp và Albert Einstein (và nhiều người khác) với Đức quốc xã. Trong hậu bán thế kỷ 20, các nạn nhân là Robert Oppenheimer, Melba Phillips và Chandler Davis ở Mỹ và Andrei Sakharov ở liên bang xô viết. Mỗi người đều kể lại một câu chuyện mang tính chất giáo dục nhưng kinh khủng, hay như mới đây là Fang Lizhi, Xu Liangying, Liu Gang và Wang Juntao ở Trung quốc, Kim Song-Man ở Hàn quốc, Otanazar Aripov ở Uzbekistan, Ramadan al-Hadi al-Hush ở Libya, Bo Bo Htun ở Miến Điện, Sami Kilani và Salman Salman ở Palestine, Abdus Salam ở Pakistan, cũng như hàng trăm người khác nữa. Trong những xã hội độc đoán, sự đối kháng giữa tính hiếu kỳ và sự bất công đã cản trở hay đè nén hoàn toàn sự phát triển của Vật lý, các khoa học tự nhiên và các ngành kỹ nghệ khác với các hậu quả về văn hoá, xã hội, kinh tế cực kỳ tiêu cực.

Khi lao mình vào cuộc phiêu lưu tìm hiểu chuyển động, ta cần phải ý thức về những điều ta đang làm. Đúng ra ta có thể tránh được các trở ngại bên ngoài hay ít nhất làm giảm chúng đi rất nhiều bằng cách duy trì kế hoạch của chúng ta. Khó khăn khác vẫn còn, lần này mang tính chất cá nhân. Tính hiếu kỳ thường đem lại các khám phá khiến ta bối rối. Nhiều người dấn mình vào cuộc phiêu lưu của chuyển động với một số khuynh hướng thường có bản chất ý thức hệ, ẩn giấu hoặc tường minh, rồi sau đó bị vướng mắc trước khi đi đến kết thúc. Một số không chuẩn bị sự khiêm tốn mà sự nỗ lực đó đòi hỏi. Một số khác lại không có sự cởi mở và sự trung thực cần thiết để ngăn chặn sự đổ vỡ niềm tin đã có. Vẫn có người không sẵn sàng nhìn vào mặt không rõ ràng, tối tăm và chưa biết, để đương đầu với chúng trong mọi tình huống.

Mặt khác, sự nguy hiểm của tính hiếu kỳ cũng đáng giá. Bằng cách lấy hiếu kỳ làm cách ngôn, đối đầu với thông tin sai lạc và sợ hãi bằng sự can đảm, ta sẽ thoát khỏi mọi tín ngưỡng. Đổi lại, ta sẽ được nếm trải niềm hoan lạc trọn vẹn nhất, sự thoả mãn sâu sắc nhất mà cuộc đời sẽ ban cho ta.

Tóm lại: ta sẽ tiếp tục cuộc hành trình. Giờ đây, con đường hướng tới đỉnh Hành Sơn đang dẫn ta đến cuộc phiêu lưu kế tiếp: khám phá nguồn gốc của kích thước, hình dạng và màu sắc trong thiên nhiên.

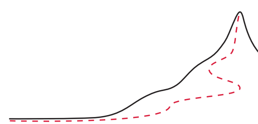
“ Và Thần thánh nói với con người: ‘Hãy lấy những gì con muốn và trả giá.’ ”

Châm ngôn

“ Khó mà làm cho một người khổ sở khi người đó có lòng tự trọng. ”

Abraham Lincoln





Chương 10

Vật lý cổ điển giản lược

Cùng với Cơ học, Nhiệt động lực học và Thuyết tương đối, Điện động lực học cổ điển đã đưa ta đi qua toàn bộ Vật lý cổ điển. Trong cấu trúc của Vật lý, Vật lý cổ điển đã bao gồm 4 trong 8 điểm tạo nên Vật lý, khoa học của chuyển động. Nhìn chung, Vật lý cổ điển mô tả chuyển động của các vật thể thông thường, chuyển động của nhiệt, của các vật chuyển động cực nhanh, của không gian trống rỗng, của ánh sáng và của điện tích. Khi hoàn tất Vật lý cổ điển, ta đã trải qua nửa cuộc hành trình. Ta hãy tóm lược những điều đã tìm được về chuyển động từ đầu cho tới giờ – và những điều ta chưa làm được.

Trang 8

Cái gì có thể chuyển động được?

Trong thiên nhiên, có 4 thực thể có thể chuyển động: *vật thể*, *bức xạ*, *không-thời gian* và *chân trời*. Trong mọi trường hợp, chuyển động của chúng xảy ra theo phương thức giảm thiểu sự biến đổi. Sự biến đổi còn được gọi là tác dụng (vật lý). Tóm lại, mọi chuyển động trong thiên nhiên đều làm giảm các tác dụng.

Trong tất cả các chuyển động, ta phân biệt *tính chất nội tại* hay vốn có với các *trạng thái* thay đổi. Ta đã biết cách phân biệt và mô tả các đặc điểm nội tại khả hữu và các trạng thái khả hữu của mỗi thực thể chuyển động.

Về các *vật thể*, ta thấy rằng trong đời sống hằng ngày, mọi vật thể hay hạt đủ nhỏ được mô tả đầy đủ bằng *khối lượng* và *điện tích* của chúng. Không có từ tích. Khối lượng và điện tích chỉ là các tính chất riêng định xứ của các vật thể cổ điển, thông thường. Cả khối lượng lẫn điện tích đều được định nghĩa bằng gia tốc mà chúng tạo ra chung quanh chúng. Cả hai đại lượng đều bảo toàn; như vậy chúng có cộng tính (với sự cẩn trọng nào đó). Khối lượng, khác với điện tích, luôn luôn dương, tức là luôn luôn hút. Khối lượng mô tả sự tương tác của các vật trong va chạm và trong trường hấp dẫn, còn điện tích thì tương tác với trường điện từ.

Mọi phương diện *thay đổi* của vật, tức là *trạng thái* của chúng, có thể được mô tả bằng cách sử dụng *động lượng* và *vị trí*, cũng như *moment động lượng* và *hướng*. Bốn đại lượng này thay đổi liên tục về lượng và hướng. Do đó tập hợp mọi trạng thái khả hữu tạo thành một không gian, được gọi là *không gian phase*. Trạng thái của các vật linh hoạt, có thể thay đổi hình dạng là trạng thái của mọi hạt thành phần của vật. Các hạt này tạo nên vật thể thông qua tương tác điện từ.

Lagrangian xác định tác dụng, hay biến đổi toàn phần, của một loại chuyển động bất kỳ. Tác dụng hay biến đổi độc lập với quan sát viên; Trạng thái thì không. Trạng thái được nhận thấy từ các quan sát viên khác nhau có liên hệ với nhau: mối liên hệ này được

gọi là 'định luật' hay tính chất của chuyển động. Đối với các thời điểm khác nhau chúng được gọi là *phương trình tiến hoá*, đối với các vị trí và hướng khác nhau chúng được gọi là *hệ thức biến đổi* và đối với các chuẩn khác nhau chúng được gọi là *các phép biến đổi chuẩn*. Chuyển động của các vật thông thường được mô tả đầy đủ bởi nguyên lý tác dụng cực tiểu: chuyển động cực tiểu hoá tác dụng.

Bức xạ cũng chuyển động. Các kiểu bức xạ thông thường như ánh sáng, sóng vô tuyến và các dạng liên hệ với chúng, là các sóng điện từ chạy. Chúng được mô tả bằng các phương trình tương tự các phương trình mô tả sự tương tác của các vật mang điện và có từ tính. Trường điện từ không có khối lượng; tốc độ của chúng trong chân không là tốc độ năng lượng cực đại trong thiên nhiên và giống nhau đối với mọi quan sát viên. Chuyển động của bức xạ mô tả chuyển động của hình ảnh. *Tính chất nội tại* của bức xạ là hệ thức tán sắc và hệ thức năng lượng–moment động lượng. *Trạng thái* của bức xạ được mô tả bằng cường độ điện từ trường, phase, độ phân cực và sự tương tác với vật chất của nó. Chuyển động của trường và sóng điện từ cực tiểu hoá tác dụng và biến đổi.

Không-thời gian cũng có thể chuyển động, bằng cách thay đổi độ cong của chúng. Trạng thái của không-thời gian được cho bởi metric, mô tả khoảng cách và độ cong, tức là độ biến dạng địa phương. Sự biến dạng có thể dao động và lan truyền nên không gian trống rỗng có thể chuyển động như một sóng. Chuyển động của không-thời gian cũng cực tiểu hoá biến đổi. Nguyên lý tác dụng cực tiểu vẫn đúng. Các tính chất nội tại của không-thời gian là số chiều, ký số metric và topo của nó. Thí nghiệm chứng tỏ rằng không-thời gian có 3+1 chiều, ký số metric của nó là + + +− và topo của nó là đơn.

Chân trời có thể xem như là trường hợp giới hạn của không-thời gian hay vật chất-bức xạ. Chúng chia sẻ các tính chất nội tại và trạng thái giống nhau. Bầu trời tối đen, ranh giới của vũ trụ, là các thí dụ quan trọng nhất về chân trời. Các thí dụ khác là ranh giới của hố đen. Vũ trụ kể cả không-thời gian và vật chất của nó, đều cho thấy có các giá trị khoảng cách và tuổi tác cực đại. Lịch sử của vũ trụ dài khoảng 3 lần lịch sử của Trái đất. Ở tầm cỡ lớn, mọi vật chất đều chuyển động ra xa lẫn nhau: vũ trụ và chân trời của nó đang giãn nở.

Các tính chất của chuyển động cổ điển

Ta quan sát được các chuyển động của vật thể, bức xạ, không-thời gian và chân trời quanh ta. Trong cuộc thám hiểm Vật lý cổ điển, ta tinh lọc được 6 tính chất đặc biệt của mọi chuyển động cổ điển – hay thông thường.

1. Chuyển động thông thường thì *liên tục*. Chuyển động liên tục cho phép ta định nghĩa không gian và thời gian. Mọi năng lượng chuyển động theo cách mà không-thời gian ra lệnh cho chúng và không gian chuyển động theo cách mà năng lượng ra lệnh cho nó. Mối liên hệ này mô tả chuyển động của các ngôi sao, của hòn đá được ném đi, của chùm ánh sáng và của thuỷ triều. Đứng yên và rơi tự do giống nhau và lực hấp dẫn là không-thời gian bị uốn cong. Khối lượng phá vỡ tính đối xứng bảo giác và làm cho không gian khác với thời gian.

   Tính liên tục của chuyển động có giới hạn: tốc độ năng lượng (địa phương), khối lượng và điện tích bị chặn trên bởi hằng số phổ quát c và độ biến đổi năng lượng (địa phương) theo thời gian bị chặn trên bởi hằng số phổ quát $c^5/4G$. Giá trị tốc độ c là tốc độ chuyển động của một hạt không khối lượng. Nó cũng liên hệ không gian

với thời gian. Giá trị công suất $c^5/4G$ là giá trị ở chân trời. Chân trời được tìm thấy quanh hố đen và ở ranh giới của vũ trụ. Giá trị công suất cực đại cũng liên hệ độ cong không-thời gian với dòng năng lượng và mô tả độ đàn hồi của không-thời gian.

Tính liên tục của chuyển động còn bị giới hạn theo cách thứ 2: không có 2 vật ở cùng một điểm tại một thời điểm. Đây là phát biểu đầu tiên mà loài người đã gặp phải khi nói về các hiện tượng điện từ. Mệnh đề này bắt nguồn từ lực đẩy của các điện tích cùng dấu trong vật chất. Việc nghiên cứu chi tiết hơn cho ta thấy rằng điện tích gia tốc các điện tích khác, ta cần điện tích để định nghĩa chiều dài và thời gian và điện tích là nguồn của trường điện từ. Ánh sáng cũng là một trường như vậy. Ánh sáng chuyển động với vận tốc khả hữu cực đại c. Trái với vật thể, ánh sáng và trường điện từ có thể xuyên qua nhau.

2. Chuyển động thông thường *bảo toàn* khối lượng, điện tích, năng lượng, động lượng và moment động lượng. Đối với các đại lượng này, *không có gì xuất hiện từ hư vô.* Sự bảo toàn áp dụng cho mọi loại chuyển động: thẳng, quay, chuyển động của vật chất, bức xạ, không-thời gian và chân trời. Năng lượng và động lượng giống như các chất liên tục: chúng không bao giờ bị phá huỷ hay được tạo ra mà chỉ luôn luôn tái phân bố. Ngay cả nhiệt, sự sinh trưởng, sự biến đổi, sự tiến hoá sinh học hay ma sát cũng không phải là ngoại lệ của sự bảo toàn.
3. Chuyển động thông thường có tính *tương đối*: tốc độ chuyển động phụ thuộc vào quan sát viên. Ngay cả nền nhà cứng dưới chân ta cũng không mâu thuẫn với tính tương đối.
4. Chuyển động thông thường có tính *thuận nghịch*: nó có thể xảy ra ngược lại. Ngay cả ma sát, sự nứt gãy của các vật hay cái chết cũng không phải là ngoại lệ của tính thuận nghịch.
5. Chuyển động thông thường có tính *bất biến gương*: chuyển động thông thường có thể xảy ra theo phép nghịch đảo gương. Tóm lại, ta thấy rằng chuyển động cổ điển của vật thể, bức xạ và không-thời gian có tính đối xứng phải-trái. Các vật nhân tạo, như chữ viết, cũng không phải là ngoại lệ đối với tính bất biến gương.
6. Chuyển động thông thường có tính *lười*: chuyển động xảy ra theo cách cực tiểu hoá biến đổi, hay tác dụng vật lý. Trong Vật lý Galilei và Điện động lực học, tác dụng là trung bình theo thời gian của hiệu giữa động năng và thế năng. Trong Thuyết tương đối tổng quát, tác dụng tính đến độ cong và độ đàn hồi của không-thời gian. Nguyên lý tác dụng cực tiểu – hay tính lười vũ trụ – đúng trong mọi trường hợp.

Tóm lại, cuộc thám hiểm Vật lý cổ điển cho ta thấy:

▷ Chuyển động có tính *lười*: nó *có thể tiên đoán được* và *có giới hạn*.

Nói cách khác, thiên nhiên tuân theo các *kiểu thức* và *quy luật*. Chuyển động thì tất định. *Không có* sự ngạc nhiên trong thiên nhiên. Thiên nhiên *không thể* làm điều mà nó thích.

Ta sẽ khám phá ra một số thí dụ hiếm hoi về chuyển động khác thường, vi phạm tính thuận nghịch và tính bất biến gương theo một cách khá tinh vi. Sự vi phạm này biến mất khi ta mở rộng ý nghĩa của các thuật ngữ một cách thích hợp. Sự bảo toàn khối lượng cũng bị vi phạm nếu đứng riêng nhưng trong Thuyết tương đối, nó trở thành một phần của sự bảo toàn năng lượng. Tóm lại, các phát biểu tổng quát về chuyển động, được hiệu

chỉnh một cách thích hợp, vẫn còn đúng trong thiên nhiên.

Ta đã thấy rằng điều chủ yếu là *chuyển động cực tiểu hoá tác dụng*. Kết quả sâu sắc này cũng còn đúng trong toàn bộ cuộc thám hiểm của chúng ta. Nói cách khác, vũ trụ không được tự do xác định những gì xảy ra bên trong nó.

Câu đố 314 e

Sau khi hoàn tất phần cổ điển của cuộc thám hiểm này, bạn có thể nghĩ rằng mình đã biết rõ Vật lý cổ điển. Nếu bạn nghĩ như vậy, hãy đọc bộ sách tuyệt vời của Friedrich Herrmann, *Historical Burdens on Physics*, có thể tải về miễn phí tại www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/index_en.html. Nếu các chủ đề được trình bày ở đó – tất cả đều dễ hiểu – đều rõ ràng đối với bạn – mặc dù bạn có thể không đồng ý – bạn đã trở thành chuyên gia về Vật lý cổ điển.

Tương lai của Trái đất

Có lẽ thiên nhiên không tỏ ra ngạc nhiên nhưng vẫn cung cấp nhiều cuộc phiêu lưu. Vào ngày 2/3/2009, một tiểu hành tinh ‘gần như’ đụng vào Trái đất. Nó đi ngang qua, cách Trái đất chỉ có 63 500 km. Nếu đụng, nó sẽ phá huỷ một vùng bằng London. Những biến cố như vậy vẫn thường xảy ra.* Nhiều cuộc phiêu lưu khác có thể tiên đoán bằng Vật lý cổ điển; chúng được liệt kê trong Bảng 25. Nhiều đề mục là các vấn đề mà con người sẽ gặp phải trong tương lai rất xa, nhưng có một số, như sự phun trào của núi lửa hay sự va chạm với tiểu hành tinh có thể xảy ra bất cứ lúc nào. Tất cả đều là các đề tài nghiên cứu.

Xem 301

BẢNG 25 Thí dụ về các chuyển động gây ra tai hoạ có thể xảy ra trong tương lai.

Tình trạng nguy hiểm	Số năm kể từ bây giờ
Sóng thần do sự phun trào của núi lửa ở quần đảo Canary	*c.* 10-200
Sự kết thúc của Vật lý cơ bản, với bằng chứng xác định rằng thiên nhiên rất đơn giản	*c.* 20 (khoảng năm 2030)
Sự cố nghiêm trọng về vật liệu hạt nhân hay sử dụng vũ khí hạt nhân	không biết
Sự bùng nổ của núi lửa ở Greenland, Italy hay nơi khác, dẫn tới bầu trời sẽ tối đen lâu dài	không biết
Sự bùng nổ của Yellowstone hay núi lửa khổng lồ khác dẫn tới mùa đông núi lửa dài suốt năm	0 tới 100 000
Sự bất ổn định của lớp mantle của Trái đất dẫn tới hoạt động dữ dội của núi lửa	không biết
Thời kỳ băng hà nhỏ bắt nguồn từ sự mất ổn định của hải lưu gulf stream	không biết
Sự thu nhỏ của khiên Ozone	*c.* 100
Mực nước biển dâng lên do hiệu ứng nhà kính	> 100
Nhiều bắc cực và nam cực từ xuất hiện, cho phép bão mặt trời làm nhiễu loạn sóng vô tuyến và viễn thông, làm gián đoạn sự cung cấp điện, làm tăng sự đột biến trên động vật và làm lạc hướng các động vật di cư như ốc sên, chim, rùa,...	*c.* 800

* Trang web www.minorplanetcenter.net/iau/lists/Closest.html cung cấp nhiều thông tin về sự hội ngộ gần gũi như vậy.

BẢNG 25 (Tiếp theo) Thí dụ về các chuyển động gây ra tai hoạ có thể xảy ra trong tương lai.

Tình trạng nguy hiểm	Số năm kể từ bây giờ
Các đám mây khí giữa các vì sao tách khỏi Thái dương hệ, làm thay đổi kích thước của nhật quyển, làm gia tăng nhật từ trường và cực quang	*c.* 3 000
Sự đảo ngược từ trường của Trái đất, dẫn tới một thời gian không có từ trường, bức xạ vũ trụ gia tăng đồng thời với ung thư da và sẩy thai	không biết
Sự cạn kiệt oxygen trong khí quyển do giảm diện tích rừng và sự tiêu thụ nhiên liệu gia tăng	> 1000
Thời kỳ băng hà sắp tới	*c.* 15 000
Sự va chạm với các đám mây khí giữa các vì sao được giả sử là sẽ đi ngang qua Trái đất mỗi 60 triệu năm, có lẽ sẽ gây ra sự tiêu huỷ vật chất	*c.* 50 000
Sự thoái hoá di truyền của loài người do sự thu nhỏ của nhiễm sắc thể Y	*c.* 200 000
Châu Phi va chạm với châu Âu, biến Địa trung hải thành một cái hồ có nước bị bay hơi	khoảng $3 \cdot 10^6$
Bùng nổ tia Gamma từ trong thiên hà của chúng ta, gây ra sự tổn hại do bức xạ cho nhiều sinh vật	từ 0 tới $5 \cdot 10^6$
Tiểu hành tinh đụng vào Trái đất, tạo ra sóng thần, bão tố, Mặt trời tối đi, v.v...	từ 0 tới $50 \cdot 10^6$
Sự đến gần của các sao láng giềng, gây ra mưa sao chổi thông qua sự mất ổn định của đám mây Oort và đe doạ đời sống trên Trái đất	$> 10^6$
Châu Mỹ đụng châu Á	$> 100 \cdot 10^6$
Đám mây phân tử nhận chìm Thái dương hệ	không biết
Sự mất ổn định của Thái dương hệ	$> 100 \cdot 10^6$
Khí CO_2 sụt giảm làm ngưng sự quang tổng hợp	$> 100 \cdot 10^6$
Sự va chạm của Ngân hà với các đám sao hay thiên hà khác	$> 150 \cdot 10^6$
Mặt trời già đi và trở nên nóng hơn, làm bay hơi nước biển	$> 250 \cdot 10^6$
Mực nước biển tăng lên do Trái đất quay chậm lại/ngừng quay (nếu không bay hơi trước đó)	$> 10^9$
Nhiệt độ tăng lên/giảm xuống (tuỳ theo vị trí) do Trái đất ngừng quay	$> 10^9$
Mặt trời cạn nhiên liệu, trở thành sao kềnh đỏ, nhận chìm Trái đất	$5.0 \cdot 10^9$
Mặt trời ngừng cháy, trở thành sao lùn trắng	$5.2 \cdot 10^9$
Lõi Trái đất hoá rắn, mất từ trường và khiên bức xạ vũ trụ	$10.0 \cdot 10^9$
Tân tinh gần bên (thí dụ như Betelgeuse) bao trùm Trái đất trong bức xạ huỷ biến	không biết
Siêu tân tinh gần bên (thí dụ như Eta Carinae) nổ tung trên Thái dương hệ	không biết
Tâm thiên hà gây ra mất ổn định cho phần còn lại của thiên hà	không biết

BẢNG 25 (Tiếp theo) Thí dụ về các chuyển động gây ra tai hoạ có thể xảy ra trong tương lai.

Tình trạng nguy hiểm	Số năm kể từ bây giờ
Vũ trụ tái suy sụp – nếu có (xem Trang 139, volume II)	$> 20 \cdot 10^9$
Vật chất phân rã thành bức xạ – nếu có (xem Phụ lục 14 in vol. V)	$> 10^{33}$
Các vấn đề với điểm kỳ dị trần trụi	chỉ trong tiểu thuyết giả tưởng
Chân không trở nên không ổn định	chỉ trong tiểu thuyết giả tưởng
Kết thúc của Vật lý ứng dụng	không bao giờ

Mặc dù sự tiên đoán khá hấp dẫn – tất cả được thực hiện trong năm 2000 – chúng ta hãy gạt các vấn đề nghe kinh khủng này qua một bên và tiếp tục con đường lên đỉnh Hành Sơn.

> “Tôi là một người già và đã gặp nhiều điều phiền muộn. Đa số chúng không bao giờ xảy ra.”
>
> Trí giả vô danh

Bản chất của Vật lý cổ điển – vô cùng nhỏ và sự thiếu vắng sự ngạc nhiên

Trong 3 phần đầu của cuộc hành trình, về Vật lý cổ điển, ta thấy rằng chuyển động cực tiểu hoá biến đổi. Mỗi loại chuyển động quanh ta đều khẳng định rằng thiên nhiên rất lười. ‘Sự lười biếng’ trong sự mô tả cổ điển về thiên nhiên dựa trên một mệnh đề quan trọng.

▷ Vật lý cổ điển là sự mô tả chuyển động bằng cách sử dụng khái niệm *vô cùng nhỏ*.

Mọi khái niệm được sử dụng cho tới nay, dành cho không gian, thời gian hay các biến động lực khác, đều giả sử rằng có đại lượng vô cùng nhỏ. Thuyết tương đối đặc biệt, dù có giới hạn tốc độ, vẫn cho phép có vận tốc vô cùng nhỏ; Thuyết tương đối tổng quát, dù có giới hạn hố đen, vẫn cho phép lực và công suất vô cùng nhỏ. Tương tự như vậy, trong sự mô tả của Điện động lực học và lực hấp dẫn, cả tích phân lẫn đạo hàm đều là sự rút gọn của các quá trình toán học sử dụng và giả sử có các khoảng cách và khoảng thời gian vô cùng nhỏ. Nói cách khác, sự mô tả thiên nhiên theo lối cổ điển được trình bày và đặt nền tảng trên khái niệm vô cùng nhỏ trong việc mô tả chuyển động.

Bằng việc sử dụng vô cùng nhỏ làm công cụ nghiên cứu, sự mô tả chuyển động theo lối cổ điển đã khám phá ra *sự bảo toàn* của năng lượng, động lượng, moment động lượng và điện tích. Chúng cũng được bảo toàn đối với các kích thước hay khoảng thời gian vô cùng nhỏ.

Sự tìm hiểu chi tiết sự bảo toàn ở các kích cỡ vô cùng nhỏ đã dẫn ta đến một kết luận mạnh hơn:

▷ Chuyển động không có sự kinh ngạc. Chuyển động là tất định, tiên đoán

được và có giới hạn. Chuyển động không có sự lựa chọn hay tuỳ chọn.

Thí nghiệm đã khẳng định tất cả các tính chất này. Như vậy chúng hàm ý

▷ Thiên nhiên không cung cấp các điều thần diệu.

Trong phát biểu này, 'điều thần diệu' là một thuật ngữ được dành cho một quá trình *ngược với* quy luật của thiên nhiên. Một số người cho rằng vô hạn là thành phần cần thiết để thực hiện được điều thần diệu. Vật lý cổ điển chứng tỏ điều ngược lại: *sự hiện hữu của vô cùng bé giúp ta tránh được điều thần diệu.*

Sự lười biếng, sự bảo toàn và sự thiếu vắng sự kinh ngạc cũng hàm ý rằng chuyển động và thiên nhiên không được mô tả bằng các khái niệm như 'phạt', 'thưởng' hay 'công bằng'. Đây cũng là trường hợp của tai hoạ, thảm hoạ, các biến cố may mắn hay hạnh phúc. Sự lười biếng, sự bảo toàn và sự thiếu vắng sự kinh ngạc cũng hàm ý rằng chuyển động và thiên nhiên *không được thiết kế* và *không có mục đích*. Nhiều người tỏ ra chống đối; họ đã sai lầm.

Vật lý cổ điển không dẫn tới sự kinh ngạc. Khi mà các kết quả này còn có thể xảy ra thì ta còn ngờ vực. Cả hai Thuyết tương đối đều loại bỏ sự hiện hữu của vô cùng lớn. Không có lực, công suất, kích thước, tuổi hay tốc độ lớn vô cùng. Tại sao ta nên có vô cùng nhỏ còn vô cùng lớn lại không cần? Và nếu ta loại cả vô cùng nhỏ thì điều thần diệu có thể xảy ra nữa không? Đúng ra vẫn còn có các câu hỏi mở về chuyển động.

Tóm tắt: Tại sao chúng ta chưa tới đỉnh núi?

> "Tất cả các định luật và sự kiện cơ bản quan trọng đều đã được khám phá và hiện nay điều này đã được hoàn thành một cách đầy đủ đến nỗi khả năng thay thế chúng bằng những hệ quả của các khám phá mới là một điều quá xa vời... Những khám phá tương lai của chúng ta phải được tìm trong số thập phân thứ 6."
>
> Albert Michelson, 1894.*

Có lẽ bây giờ ta nghĩ rằng mình đã biết rõ thiên nhiên, giống như Albert Michelson đã nói vào cuối thế kỷ 19. Ông cho rằng Điện động lực học và Vật lý Galilei hàm ý rằng ta đã biết rõ các các định luật vật lý quan trọng. Phát biểu này thường được trích dẫn như một thí dụ về sự tiên đoán sai lầm vì nó phản ánh sự phong toả tư tưởng một cách kỳ lạ đối với thế giới bên ngoài. Michelson không chỉ bỏ qua nhu cầu tìm hiểu sự đen tối của bầu trời và Thuyết tương đối tổng quát.

Michelson – khác với các vật lý gia cùng thời – cũng đã bỏ qua 3 sự mâu thuẫn giữa Điện động lực học và thiên nhiên, một sai lầm không thể bào chữa. Trước tiên, như ta đã thấy ở trên là đồng hồ và cây thước phải làm bằng vật chất và phải dựa trên Điện từ
Trang 249
học. Nhưng như ta đã thấy, Điện động lực học cổ điển không giải thích được tính ổn định và các tính chất của vật chất và nguyên tử. Vật chất được tạo thành từ các vi hạt nhưng sự liên hệ giữa các hạt này, điện và các điện tích nhỏ nhất không rõ ràng.

* Từ diễn văn của ông tại buổi lễ khánh thành Phòng thí nghiệm vật lý Ryerson ở đại học Chicago. Michelson (b. 1852 Strelno, d. 1931 Pasadena) là một nhà vật lý nổi tiếng và có nhiều ảnh hưởng; ông đã nhận được giải Nobel Vật lý năm 1907 nhờ các thí nghiệm về sự bất biến của tốc độ ánh sáng.

▷ Chúng ta không hiểu về vật chất.

Nếu ta không hiểu vật chất, ta chưa thể hoàn toàn hiểu về không gian và thời gian vì ta xác định không gian và thời gian bằng cách sử dụng các thiết bị đo làm bằng vật chất.

Điều thứ 2, Michelson đã biết rằng nguồn gốc một màu quan sát được trong thiên nhiên không thể mô tả bằng Điện động lực học cổ điển.

▷ Chúng ta không hiểu về màu sắc.

Điện động lực học cổ điển chỉ có thể giải thích sự khác nhau của màu sắc và sự thay đổi màu nhưng nó không thể mô tả các giá trị tuyệt đối của màu sắc.

Điều tệ hơn là Michelson đã bỏ qua giới hạn thứ 3 của mô tả cổ điển về thiên nhiên:

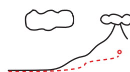
▷ Chúng ta không hiểu về đời sống.

Các khả năng của sinh vật – tăng trưởng, nhìn, nghe, cảm giác, suy nghĩ, khoẻ mạnh hay đau ốm, sinh sản và qua đời – tất cả đều được Vật lý cổ điển giải thích. Đúng ra tất cả các khả năng này *mâu thuẫn* với Vật lý cổ điển. Tuy vậy, Michelson nhận giải Nobel vật lý nhiều năm sau phát biểu trên.

Vào cuối thế kỷ 19, sự tiến bộ của công nghệ bắt nguồn từ việc sử dụng điện, Hoá học và công nghệ chân không cho phép ta chế tạo máy móc và dụng cụ ngày càng hoàn thiện. Tất cả đều được chế tạo theo cách suy nghĩ của Vật lý cổ điển. Trong những năm giữa 1890 và 1920, các máy móc cổ điển này phá huỷ hoàn toàn nền tảng của Vật lý cổ điển. Các thí nghiệm bằng các dụng cụ này cho ta thấy rằng: vật chất được tạo thành từ các nguyên tử có kích thước không đổi và hữu hạn, điện tích có một giá trị nhỏ nhất, có một giá trị entropy nhỏ nhất, có một giá trị moment động lượng nhỏ nhất, có một giá trị tác dụng nhỏ nhất trong thiên nhiên và các hạt vật chất và ánh sáng đều hành xử một cách ngẫu nhiên.

Tóm lại, các thí nghiệm chính xác chứng tỏ rằng trong thiên nhiên, sự hiện hữu của vô cùng nhỏ bị sai trong nhiều trường hợp: nhiều biến động lực có giá trị theo các *lượng tử*. Giống như các đế quốc cổ xưa Vật lý cổ điển đã sụp đổ. Thiên nhiên *không* được Vật lý cổ điển mô tả đúng ở các thang đo nhỏ. Người ta cần đến *Vật lý lượng tử*.

Tóm lại, việc tìm hiểu ánh sáng, vật chất và sự tương tác của chúng, bao gồm đời sống, là mục đích của phần phiêu lưu sắp đến của chúng ta. Và để hiểu đời sống ta cần tìm hiểu kích thước, hình dạng, màu sắc và tính chất về vật liệu của mọi vật – kể cả các nguyên tử. Sự tìm hiểu này xảy ra ở kích cỡ nhỏ. Đặc biệt hơn, để tìm hiểu vật chất, màu sắc và cuộc sống ta cần nghiên cứu *các hạt*. Vẫn còn nhiều điều để ta khám phá. Và sự thám hiểm này sẽ dẫn ta đi từ sự ngạc nhiên này tới sự ngạc nhiên khác.



Chương 11

Đơn vị, sự đo lường và các hằng số

Sự đo lường đồng nghĩa với việc so sánh các đại lượng cần đo với các chuẩn đo lường. Các chuẩn đo lường dựa trên các *đơn vị*. Nhiều hệ đơn vị khác nhau đã được sử dụng trên khắp thế giới. Phần lớn các chuẩn đo lường này được trao quyền cho một tổ chức phụ trách. Việc trao quyền này có khi bị lạm dụng và ngày nay việc này đã xảy ra, thí dụ như trong kỹ nghệ máy tính cũng như trong quá khứ xa xưa. Giải pháp cho cả hai trường hợp này thì giống nhau: tạo ra chuẩn đo lường có tính độc lập và toàn cầu. Đối với các đơn vị đo lường, việc này đã diễn ra vào thế kỷ 18: để tránh việc các tổ chức độc đoán lạm dụng, để loại bỏ các vấn đề các chuẩn đo lường khác nhau, thay đổi và không thể tái lập được, và – điều này không phải chuyện đùa – để đơn giản hoá việc thu thuế, tạo nên sự công bằng, một nhóm các khoa học gia, chính trị gia và kinh tế gia đồng ý tạo ra một bộ đơn vị. Nó được gọi là *Système International d'Unités*, Hệ đơn vị quốc tế, viết tắt là *SI*, và được xác định bởi một Hiệp ước quốc tế, 'Công ước về Mét'. Các đơn vị được bảo dưỡng bởi một tổ chức quốc tế, 'Đại hội đồng về cân đo', và các tổ chức con của nó, 'Uỷ ban quốc tế về cân đo' và 'Văn phòng quốc tế về cân đo' (BIPM). Tất cả đều Xem 368 được tổ chức trước Cách mạng Pháp.

Đơn vị SI

Tất cả các đơn vị SI đều được xây dựng từ 7 *đơn vị cơ bản*, có định nghĩa chính thức, được dịch từ tiếng Pháp sang tiếng Anh như dưới đây, cùng với ngày tháng định nghĩa:

- '*giây* là khoảng thời gian của 9 192 631 770 chu kỳ của bức xạ tương ứng với sự chuyển dời giữa hai mức siêu tinh tế của trạng thái cơ bản của nguyên tử caesium 133.' (1967) Định nghĩa 2019 thì tương đương nhưng ít rõ ràng hơn.*
- '*mét* là chiều dài của quãng đường trong chân không mà ánh sáng đi được trong khoảng thời gian 1/299 792 458 s.' (1983) Định nghĩa 2019 thì tương đương nhưng ít rõ ràng hơn.*
- '*kilogam*, ký hiệu kg, là đơn vị SI của khối lượng. Nó được định nghĩa bằng cách lấy trị số của hằng số Planck h bằng $6.626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$ khi được biểu diễn theo đơn vị $J \cdot s$ hay $kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$.' (2019)'*
- '*ampere*, ký hiệu A, là đơn vị SI của dòng điện. Nó được định nghĩa bằng cách lấy trị số của điện tích nguyên tố e bằng $1.602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ khi được biểu diễn theo đơn vị C hay $A \cdot s$.' (2019) * Định nghĩa này tương đương với: 1 ampere là $6.241\,509\,074... \cdot 10^{18}$ điện tích nguyên tố mỗi giây.
- '*kelvin*, ký hiệu K, là đơn vị SI của nhiệt độ nhiệt động lực. Nó được định nghĩa bằng cách lấy trị số của hằng số Boltzmann k bằng $1.380\,649 \cdot 10^{-23}$ khi được biểu diễn theo

đơn vị J/K.' (2019)*

- '*mole*, ký hiệu mol, là đơn vị SI của lượng chất. Một mol chứa đúng $6.022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ thực thể sơ cấp.' (2019)*
- '*candela* là cường độ sáng, theo hướng đã cho, của một nguồn phát ra bức xạ đơn sắc có tần số $540 \cdot 10^{12}$ hertz và có cường độ bức xạ theo hướng đó bằng (1/683) w/sr.' (1979) Định nghĩa 2019 thì tương đương nhưng ít rõ ràng hơn.*

Ta nên chú ý là cả hai đơn vị thời gian và chiều dài đều được định nghĩa như các tính chất nào đó của một mẫu tiêu chuẩn của chuyển động, cụ thể là ánh sáng. Đại hội đồng về cân đo cũng nhấn mạnh rằng việc quan sát chuyển động là một *điều kiện tiên quyết* để định nghĩa và xây dựng không gian và thời gian. *Chuyển động là cơ sở cho mọi quan sát và mọi phép đo.* Cũng cần nói thêm, việc sử dụng ánh sáng trong các định nghĩa đã được Jacques Babinet đề nghị vào năm 1827.**

Từ những đơn vị cơ bản này, tất cả các đơn vị khác được định nghĩa bằng các phép nhân và chia. Như vậy tất cả các đơn vị SI đều có các tính chất sau đây:

- Các đơn vị SI tạo thành một hệ đơn vị có *độ chính xác cao nhất*: tất cả các đơn vị được định nghĩa với độ chính xác cao hơn độ chính xác của các phép đo thường dùng. Hơn nữa, độ chính xác của các định nghĩa được cải tiến thường xuyên. Sai số tương đối hiện nay của định nghĩa của giây vào khoảng 10^{-14}, của met vào khoảng 10^{-10}, của kilogam vào khoảng 10^{-9}, của ampere là 10^{-7}, của mole ít hơn 10^{-6}, của kelvin là 10^{-6} và của candela là 10^{-3}.
- Các đơn vị SI tạo thành một hệ đơn vị *tuyệt đối*: mọi đơn vị đều được định nghĩa sao cho người ta có thể tái lập chúng trong những phòng thí nghiệm được trang bị thích hợp, một cách độc lập, với độ chính xác cao. Điều này nhằm loại trừ tối đa các sai sót hay lạm dụng của các tổ chức định chuẩn. Đúng ra đơn vị SI hiện nay rất gần với các đơn vị tự nhiên của Planck mà ta sẽ trình bày sau đây. Trong thực tế, SI hiện nay là một tiêu chuẩn quốc tế dùng để xác định trị số của 7 hằng số $\Delta\nu_{\mathrm{Cs}}$, c, $\hbar$, e, k, N_{A} và K_{cd}. Sau hơn 200 năm bàn bạc, CGPM còn rất ít việc để làm.
- Các đơn vị SI tạo thành một hệ đơn vị *thực tế*: các đơn vị cơ bản là các đại lượng có kích thước thông thường. Các đơn vị thường dùng có tên và cách viết tắt tiêu chuẩn. Danh sách đầy đủ chỉ bao gồm 7 đơn vị cơ bản, các đơn vị phụ, các đơn vị dẫn xuất và các đơn vị được thêm vào.

Có hai đơn vị SI *phụ*: đơn vị đo góc (phẳng), được định nghĩa là tỷ số của chiều dài cung/bán kính, gọi là *radian* (rad). Góc khối được định nghĩa là tỷ số diện tích đối diện/bình phương bán kính, gọi là *steradian* (sr).

Các đơn vị *dẫn xuất* có tên riêng chính thức bằng tiếng Anh, không viết hoa và dấu nhấn, là:

* Ký hiệu của 7 đơn vị là s, m, kg, A, K, mol và cd. Định nghĩa chính thức có đầy đủ ở địa chỉ www.bipm.org. Để biết thêm chi tiết về các mức năng lượng của nguyên tử caesium, hãy tham khảo một quyển sách về vật lý nguyên tử. Thang đo nhiệt độ Celsius θ được định nghĩa như sau: $\theta/°\mathrm{C} = T/\mathrm{K} - 273.15$; hãy để ý có một sai biệt nhỏ với con số xuất hiện trong định nghĩa của kelvin. Trong định nghĩa của candela, tần số ánh sáng tương ứng với 555.5 nm, tức là màu lục, là bước sóng nhạy nhất đối với mắt.

Xem 303

** Jacques Babinet (1794–1874), vật lý gia Pháp, người đã công bố các công trình quang học quan trọng.

Tên	Viết tắt	Tên	Viết tắt
hertz	Hz = 1/s	newton	N = kg m/s^2
pascal	Pa = N/m^2 = kg/(m s^2)	joule	J = Nm = kg m^2/s^2
watt	W = kg m^2/s^3	coulomb	C = As
volt	V = kg m^2/(As^3)	farad	F = As/V = A^{2}s^4/(kg m^2)
ohm	Ω = V/A = kg m^2/(A^{2}s^3)	siemens	S = 1/Ω
weber	Wb = Vs = kg m^2/(As^2)	tesla	T = Wb/m^2 = kg/(As^2) = kg/(Cs)
henry	H = Vs/A = kg m^2/(A^{2}s^2)	độ Celsius	°C (xem định nghĩa của kelvin)
lumen	lm = cd sr	lux	lx = lm/m^2 = cd sr/m^2
becquerel	Bq = 1/s	gray	Gy = J/kg = m^2/s^2
sievert	Sv = J/kg = m^2/s^2	katal	kat = mol/s

Ta nên nhớ trong các định nghĩa đơn vị, kilogram chỉ xuất hiện với luỹ thừa 1, 0 và −1. Bạn có thể tìm ra lý do không? Câu đố 315 s

Các đơn vị không thuộc SI *được thêm vào* là *phút*, *giờ*, *ngày* (đối với thời gian), *độ* 1° = π/180 rad, *phút* 1′ = π/10 800 rad, *giây* 1″ = π/648 000 rad (đối với góc), *lít*, và *tấn*. Các đơn vị khác đều bị tránh không sử dụng.

Người ta làm tăng thêm tính thực tế cho tất cả các đơn vị SI bằng cách đưa ra thêm các tên và cách viết tắt tiêu chuẩn của các luỹ thừa của 10, mà ta gọi là *các tiền tố*:*

Tên luỹ thừa			Tên luỹ thừa			Tên luỹ thừa			Tên luỹ thừa		
10^1	deca	da	10^{-1}	deci	d	10^{18}	Exa	E	10^{-18}	atto	a
10^2	hecto	h	10^{-2}	centi	c	10^{21}	Zetta	Z	10^{-21}	zepto	z
10^3	kilo	k	10^{-3}	milli	m	10^{24}	Yotta	Y	10^{-24}	yocto	y
10^6	Mega	M	10^{-6}	micro	µ	không chính thức:			Xem 304		
10^9	Giga	G	10^{-9}	nano	n	10^{27}	Xenta	X	10^{-27}	xenno	x
10^{12}	Tera	T	10^{-12}	pico	p	10^{30}	Wekta	W	10^{-30}	weko	w
10^{15}	Peta	P	10^{-15}	femto	f	10^{33}	Vendekta	V	10^{-33}	vendeko	v
						10^{36}	Udekta	U	10^{-36}	udeko	u

▪ Các đơn vị SI tạo thành một hệ đơn vị *đầy đủ*: chúng bao gồm một cách có hệ thống tất cả các biến động lực trong vật lý. Thêm nữa, chúng còn điều chỉnh luôn các đơn vị đo lường cho tất cả các khoa học khác.

* Người ta đã sáng chế ra một số tên (yocto nghe giống như từ Latin *octo* 'tám', zepto nghe giống như từ Latin *septem*, yotta và zetta thì tương tự, exa và peta nghe giống như từ Hy Lạp ἑξάκις và πεντάκις là '6 lần' và '5 lần', các tên không chính thức nghe giống như các từ Hy Lạp có nghĩa là 9, 10, 11 và 12); một số tên là từ tiếng Đan Mạch/Na Uy (atto do *atten* '18', femto do *femten* '15'); một số tên là từ tiếng Latin (*mille* là '1000', *centum* là '100', *decem* là '10', *nanus* là 'lùn'); một số tên là từ tiếng Ý (*piccolo* là 'nhỏ'); một số tên là từ tiếng Hy Lạp (micro do μικρός là 'nhỏ', deca/deka do δέκα là '10', hecto do ἑκατόν là '100', kilo do χίλιοι là '1000', mega do μέγας là 'lớn', giga doγίγας là 'khổng lồ', tera do τέρας là 'quái vật').

Hãy dịch câu: Tôi đã bị kẹt xe mất một micro-thế kỷ để đi một quãng đường một picoparsec và tốn hết 2/10 milimét vuông nhiên liệu. Câu đố 316 e

▪ Các đơn vị SI tạo thành một hệ đơn vị *phổ dụng*: chúng còn được sử dụng trong lĩnh vực thương mại, kỹ nghệ, giáo dục, nghiên cứu và trong gia đình. Chúng còn có thể được các nền văn minh ngoài Trái đất, nếu có, sử dụng.

▪ Các đơn vị SI tạo thành một hệ đơn vị *nhất quán*: tích hay thương của 2 đơn vị SI cũng là một đơn vị SI. Về nguyên tắc điều này có nghĩa là có thể dùng cùng một chữ viết tắt 'SI' cho mọi đơn vị.

Các đơn vị SI không phải là tập hợp khả hữu duy nhất có thể thoả mãn các yêu cầu trên nhưng chúng là hệ đơn vị đang có, duy nhất làm được điều đó.*

Ý nghĩa của phép đo

Mỗi phép đo là một sự so sánh với một chuẩn đo. Do đó, một phép đo bất kỳ đòi hỏi có
Câu đố 317 e
vật chất để hiện thực hoá chuẩn đo (ngay cả chuẩn vận tốc), và *bức xạ* để hoàn thành việc so sánh. Như vậy khái niệm đo đã giả sử rằng phải có vật chất và bức xạ và chúng phải tách biệt nhau.

Mỗi phép đo là một sự so sánh. Như vậy đo bao hàm việc phải có không gian và thời gian và chúng phải khác nhau.

Mỗi phép đo sinh ra một kết quả đo. Do đó mỗi phép đo phải có *nơi lưu trữ* kết quả. Như vậy quá trình đo dẫn tới sự phân biệt trạng thái trước và sau khi đo. Nói cách khác, mỗi phép đo là một quá trình *bất thuận nghịch*.

Mỗi phép đo là một quá trình chiếm một lượng thời gian và không gian nào đó.

Các tính chất này tuy đơn giản nhưng quan trọng. Hãy coi chừng xem có ai phủ nhận chúng hay không.

Độ chính xác và độ đúng của phép đo

Đo lường là nền tảng của vật lý. Mỗi phép đo có một *sai số*. Sai số là do sự thiếu chính xác hay chưa đúng. *Độ chính xác* là mức độ tái lập kết quả khi phép đo được lặp lại; *độ đúng* là mức độ tương ứng của kết quả đo với giá trị thực.

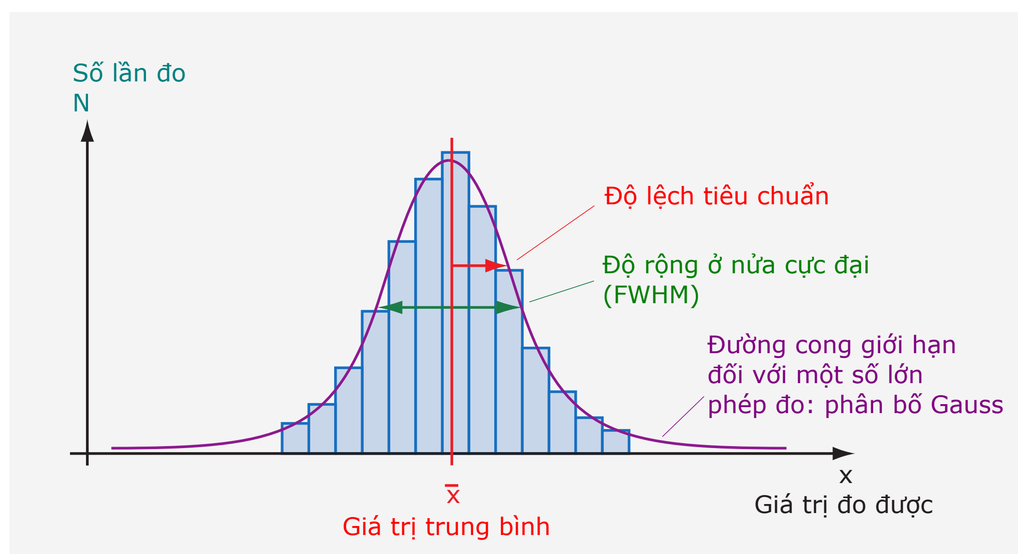
Sự thiếu chính xác là do *các sai số ngẫu nhiên* hay tình cờ; sai số được đánh giá tốt nhất bằng *độ lệch tiêu chuẩn*, ký hiệu σ; được định nghĩa như sau

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2 , \qquad (110)$$

trong đó $\bar{x}$ là giá trị trung bình của các kết quả đo x_i. (Bạn có biết tại sao người ta dùng
Câu đố 318 s
$n - 1$ trong công thức thay vì n không?)

Đối với phần lớn các thí nghiệm, sự phân bố của các giá trị đo được đều hướng tới phân bố chuẩn, còn gọi là *phân bố Gauss*, khi số lượng phép đo tăng lên. Phân bố biểu

* Ngoài các đơn vị quốc tế, cũng có các đơn vị mang tính *địa phương*. Phần lớn các đơn vị địa phương, vẫn còn được sử dụng, có nguồn gốc La Mã. Dặm xuất phát từ *milia passum*, thường là 1000 bước (đôi) dài khoảng 1480 mm mỗi bước; ngày nay một hải lý, đã từng được định nghĩa là 1 phút cung trên Mặt đất, có chiều dài chính xác là 1852 m. Inch xuất phát từ *uncia/onzia* (1/12 của một foot). Pound (xuất phát từ *pondere* 'cân') được dịch từ *libra* – cái cân – cũng là nguồn gốc của chữ viết tắt lb. Ngay cả thói quen đếm từng tá thay vì chục cũng có nguồn gốc La Mã. Những đơn vị này và các đơn vị buồn cười khác – như hệ đơn vị mà tên các đơn vị đều bắt đầu bằng chữ 'f', và hệ dùng furlong/fortnight làm đơn vị vận tốc – bây giờ đã chính thức được định nghĩa là bội số của đơn vị SI.



HÌNH 185 Một thí nghiệm chính xác và phân bố của các giá trị đo được. Sự chính xác cao nếu bề rộng của phân bố hẹp; độ đúng cao nếu tâm của phân bố phù hợp với giá trị thực.

diễn trong Hình 185, được mô tả bởi biểu thức

$$N(x) \approx \mathrm{e}^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \ . \tag{111}$$

Câu đố 319 e
Bình phương của độ lệch tiêu chuẩn σ^2 được gọi là *phương sai*. Đối với phân bố Gauss của các giá trị đo được, 2.35σ là độ rộng tại nửa cực đại.

Xem 305
Độ đúng không cao là do *các sai số hệ thống*;thường người ta chỉ có thể ước lượng các sai số này. Phần ước lượng này được thêm vào sai số ngẫu nhiên để tạo ra *sai số toàn phần của thí nghiệm*, đôi khi còn được gọi là *độ bất định toàn phần*. Sai số *tương đối* hay độ bất định là tỷ số giữa sai số và giá trị đo được.

Câu đố 320 e
Thí dụ một phép đo chuyên nghiệp sẽ cho một kết quả như 0.312(6) m. Con số giữa hai dấu ngoặc đơn là độ lệch tiêu chuẩn σ, theo đơn vị của chữ số cuối cùng. Theo trên, ta đã giả sử kết quả đo tuân theo phân bố Gauss. Do đó, một giá trị 0.312(6) m hàm ý rằng giá trị thực theo mong đợi nằm

— trong khoảng 1σ với xác suất 68.3 %, như vậy trong thí dụ này nằm trong khoảng 0.312 ± 0.006 m;
— trong khoảng 2σ với xác suất 95.4 %, như vậy trong thí dụ này nằm trong khoảng 0.312 ± 0.012 m;
— trong khoảng 3σ với xác suất 99.73 %, như vậy trong thí dụ này nằm trong khoảng 0.312 ± 0.018 m;
— trong khoảng 4σ với xác suất 99.9937 %, như vậy trong thí dụ này nằm trong khoảng 0.312 ± 0.024 m;
— trong khoảng 5σ với xác suất 99.999 943 %, như vậy trong thí dụ này nằm trong khoảng 0.312 ± 0.030 m;
— trong khoảng 6σ với xác suất 99.999 999 80 %, như vậy trong thí dụ này nằm trong

khoảng 0.312 ± 0.036 m;
— trong khoảng 7σ với xác suất 99.999 999 999 74 %, như vậy trong thí dụ này nằm trong khoảng 0.312 ± 0.041 m.

Câu đố 321 s (Những con số sau có ý nghĩa không?)

Nên nhớ rằng độ lệch tiêu chuẩn có 1 chữ số; bạn phải là một chuyên gia tầm cỡ thế giới mới dùng 2 chữ số, và một anh hề mới dùng nhiều chữ số hơn. Nếu không cho độ lệch tiêu chuẩn, thì xem như bằng (1). Kết quả, đối với các tay chuyên nghiệp, thì 1 km và 1000 m *không* giống nhau!

Điều gì sẽ xảy ra cho các sai số khi hai giá trị đo được A và B được cộng hay trừ với nhau? Nếu tất cả các phép đo độc lập – hay không tương quan – độ lệch tiêu chuẩn của tổng *và* hiệu sẽ là $\sigma = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2}$. Đối với tích hay thương của hai giá trị đo được không tương quan C và D, kết quả là $\rho = \sqrt{\rho_C^2 + \rho_D^2}$, ở đây ρ là độ lệch tiêu chuẩn *tương đối*.

Câu đố 322 s Giả sử bạn đo được một vật đi được 1.0 m trong 3.0 s: giá trị đo được của tốc độ là bao nhiêu?

Giới hạn của độ chính xác

Giới hạn của độ đúng và độ chính xác là gì? Không có cách nào, ngay cả theo nguyên tắc, để đo một chiều dài x với *độ chính xác* cao hơn 61 chữ số, vì trong thiên nhiên, tỷ số giữa chiều dài lớn nhất và nhỏ nhất có thể đo được là $\Delta x/x > l_{\text{Pl}}/d_{\text{horizon}} = 10^{-61}$. (Tỷ số

Câu đố 323 e này còn đúng với lực và thể tích không?) Trong quyển sách sau cùng của chúng ta, việc nghiên cứu đồng hồ và thước sẽ củng cố cho giới hạn lý thuyết này.

Quyển VI, trang 94 Cũng dễ suy ra các giới hạn thực tế chặt chẽ hơn. Không có máy móc tưởng tượng nào có thể đo các đại lượng với độ chính xác cao hơn phép đo đường kính của Trái đất trong phạm vi chiều dài nhỏ nhất đã đo được, khoảng 10^{-19} m; giới hạn đó có khoảng 26 chữ số chính xác. Dùng một giới hạn hiện thực hơn của một máy có kích cỡ 1000 m sẽ dẫn tới một giới hạn 22 chữ số. Nếu, như đã tiên đoán ở trên, các phép đo thời gian thực sự đạt tới 17 chữ số chính xác, thì chúng đang tiến gần đến giới hạn thực tế, vì tách rời khỏi kích thước, có một ràng buộc thực tế phụ: chi phí. Thật vậy, thêm một chữ số chính xác trong phép đo thường có nghĩa là thêm một chữ số vào chi phí thiết bị.

Các hằng số vật lý

Trong vật lý, các quan trắc tổng quát được suy ra từ các quan trắc cơ bản hơn. Kết quả là nhiều phép đo có thể được suy ra từ những phép đo cơ bản hơn. Các phép đo cơ bản nhất là các phép đo các hằng số vật lý.

Các bảng sau đây cho các giá trị tốt nhất thế giới của các hằng số vật lý và các tính chất quan trọng nhất – theo đơn vị SI và vài đơn vị thông thường khác – như đã công bố

Xem 306 trong phần tham khảo các tiêu chuẩn. Các giá trị là trung bình của các phép đo tốt nhất thế giới đã được thực hiện cho đến nay. Như thường lệ, sai số thực nghiệm, bao gồm cả sai số ngẫu nhiên và sai số hệ thống đã được ước lượng, biểu diễn theo dạng độ lệch tiêu chuẩn được cho vào chữ số cuối cùng. Đúng ra thì sau mỗi số trong các bảng sau đây là

Xem 307 một câu chuyện dài đáng kể lại, nhưng ở đây không đủ chỗ để làm việc đó.

Về nguyên tắc, *mọi* tính chất định lượng của vật chất đều có thể tính toán bằng Thuyết lượng tử – nói chính xác hơn là các phương trình của mô hình chuẩn của hạt – và tập

Quyển V, trang 261 hợp các hằng số *cơ bản* được cho trong bảng sau đây. Thí dụ như màu sắc, mật độ và các

tính chất đàn hồi đều có thể tiên đoán được bằng phương thức này.

BẢNG 27 Các hằng số vật lý cơ bản.

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị theo đơn vị SI	Độ bđ.[a]
Các hằng số dùng để định nghĩa các đơn vị đo lường SI			
Tốc độ của ánh sáng trong chân không [c]	c	299 792 458 m/s	0
Hằng số Planck [c]	h	$6.626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$ Js	0
Hằng số Planck rút gọn, lượng tử tác dụng	$\hbar$	$1.054\,571\,817 \ldots \cdot 10^{-34}$ Js	0
Điện tích Positron [c]	e	0.160 217 6634 aC	0
Hằng số Boltzmann [c]	k	$1.380\,649 \cdot 10^{-23}$ J/K	0
Số Avogadro	N_A	$6.022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ 1/mol	0
Hằng số *sẽ* dùng để định nghĩa đơn vị đo lường SI			
Hằng số hấp dẫn	G	$6.674\,30(15) \cdot 10^{-11}$ Nm^2/kg^2	$2.2 \cdot 10^{-5}$
Các hằng số cơ bản khác			
Số chiều không-thời gian		3 + 1	0 [b]
Hằng số cấu trúc tinh tế [d] hay	$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 \hbar c}$	1/137.035 999 084(21)	$1.5 \cdot 10^{-10}$
hằng số liên kết điện từ	$= g_{em}(m_e^2 c^2)$	= 0.007 297 352 5693(11)	$1.5 \cdot 10^{-10}$
Hằng số liên kết Fermi [d] hay	$G_F/(\hbar c)^3$	$1.166\,3787(6) \cdot 10^{-5}$ GeV^{-2}	$5.1 \cdot 10^{-7}$
hằng số liên kết yếu	$\alpha_w(M_Z) = g_w^2/(4\pi)$	1/30.1(3)	$1 \cdot 10^{-2}$
Hằng số liên kết mạnh [d]	$\alpha_s(M_Z) = g_s^2/(4\pi)$	0.1179(10)	$8.5 \cdot 10^{-3}$
Góc hoà trộn yếu	$\sin^2 \theta_W(\overline{MS})$	0.231 22(4)	$1.7 \cdot 10^{-4}$
	$\sin^2 \theta_W$ (trên mặt) $= 1 - (m_W/m_Z)^2$	0.222 90(30)	$1.3 \cdot 10^{-3}$
Matrix hoà trộn quark CMK	$\|V\|$	$\begin{pmatrix} 0.97383(24) & 0.2272(10) & 0.00396(9) \\ 0.2271(10) & 0.97296(24) & 0.04221(80) \\ 0.00814(64) & 0.04161(78) & 0.999100(34) \end{pmatrix}$	
Bất biến Jarlskog	J	$3.08(18) \cdot 10^{-5}$	
Matrix hoà trộn neutrino PMNS	$\|P\|$	$\begin{pmatrix} 0.82(2) & 0.55(4) & 0.150(7) \\ 0.37(13) & 0.57(11) & 0.71(7) \\ 0.41(13) & 0.59(10) & 0.69(7) \end{pmatrix}$	
Khối lượng Electron	m_e	$9.109\,383\,7015(28) \cdot 10^{-31}$ kg	$3.0 \cdot 10^{-10}$
		$5.485\,799\,090\,65(16) \cdot 10^{-4}$ u	$2.9 \cdot 10^{-11}$
		0.510 998 950 00(15) MeV	$3.0 \cdot 10^{-10}$
Khối lượng Muon	m_μ	$1.883\,531\,627(42) \cdot 10^{-28}$ kg	$2.2 \cdot 10^{-8}$
		105.658 3755(23) MeV	$2.2 \cdot 10^{-8}$
Khối lượng Tau	m_τ	1.776 82(12) GeV/c^2	$6.8 \cdot 10^{-5}$
Khối lượng neutrino electron	m_{ν_e}	< 2 eV/c^2	
Khối lượng neutrino Muon	m_{ν_μ}	< 2 eV/c^2	
Khối lượng neutrino Tau	m_{ν_τ}	< 2 eV/c^2	

BẢNG 27 (Tiếp theo) Các hằng số vật lý cơ bản.

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị theo đơn vị SI	Độ bđ[a]
Khối lượng quark Up	u	$21.6(+0.49/-0.26)$ MeV/c^2	
Khối lượng quark Down	d	$4.67(+0.48/-0.17)$ MeV/c^2	
Khối lượng quark Strange	s	$93(+11/-5)$ MeV/c^2	
Khối lượng quark Charm	c	1.27(2) GeV/c^2	
Khối lượng quark Bottom	b	4.18(3) GeV/c^2	
Khối lượng quark Top	t	172.9(0.4) GeV/c^2	
Khối lượng Photon	γ	$< 2 \cdot 10^{-54}$ kg	
Khối lượng boson W	$W^{\pm}$	80.379(12) GeV/c^2	
Khối lượng boson Z	Z^0	91.1876(21) GeV/c^2	
Khối lượng Higgs	H	125.10(14) GeV/c^2	
Khối lượng Gluon	$g_{1...8}$	c. 0 MeV/c^2	

a. Độ bất định: độ lệch tiêu chuẩn của sai số của phép đo.
b. Chỉ đo được từ 10^{-19} m tới 10^{26} m.
c. Hằng số định nghĩa.
d. Tất cả các hằng số liên kết phụ thuộc vào sự chuyển động lượng 4 chiều, như đã giải thích trong phần tái chuẩn hoá. *Hằng số cấu trúc tinh tế* là tên truyền thống của hằng số liên kết điện từ g_{em} trong trường hợp chuyển động lượng 4 chiều có $Q^2 = m_e^2c^2$, là giá trị khả hữu nhỏ nhất. Ở mức chuyển động lượng cao hơn, nó có giá trị lớn hơn, tức là $g_{em}(Q^2 = M_W^2c^2) \approx 1/128$. Trái lại, hằng số liên kết mạnh ở mức chuyển động lượng cao hơn, có giá trị nhỏ hơn; tức là $\alpha_s(34\,\text{GeV}) = 0.14(2)$.

Page 131

Tại sao các hằng số cơ bản này lại có giá trị như vậy? Đối với một hằng số bất kỳ *có thứ nguyên*, như lượng tử tác dụng $\hbar$, trị số chỉ có giá trị lịch sử. Nó là $1.054 \cdot 10^{-34}$ Js vì định nghĩa SI của joule và giây. Do đó câu hỏi tại sao giá trị của một hằng số *có thứ nguyên* không lớn hơn hay nhỏ hơn, luôn luôn đòi hỏi ta hiểu nguồn gốc của các số *không thứ nguyên* là tỷ số giữa hằng số đó và *đơn vị tự nhiên* tương ứng được định nghĩa bằng c, G, k, N_A và $\hbar$. Thông tin và giá trị của các đơn vị tự nhiên được cho trong một phần riêng.

Quyển IV, trang 209

Việc tìm hiểu kích thước nguyên tử, con người, cây cối và ngôi sao, thời gian xảy ra của các quá trình phân tử và nguyên tử, khối lượng của hạt nhân và núi non, bao hàm việc tìm hiểu về các tỷ số giữa các giá trị này và đơn vị tự nhiên tương ứng. Như vậy điểm chính yếu của việc tìm hiểu thiên nhiên là tìm hiểu tất cả các tỷ số của phép đo, tức là tất cả các hằng số không thứ nguyên. Nhiệm vụ tìm hiểu tất cả các tỷ số, bao gồm chính hằng số cấu trúc tinh tế α, chỉ được hoàn tất trong quyển cuối cùng của cuộc phiêu lưu.

Các hằng số cơ bản sinh ra các kết quả quan sát hữu ích, có độ chính xác cao, sau đây:

BẢNG 28 Các hằng số vật lý dẫn xuất.

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị theo đơn vị SI	Độ bđ.
Độ từ thẩm của chân không	μ_0	1.256 637 062 12(19) μH/m	$1.5 \cdot 10^{-10}$
Độ điện thẩm của chân không	$\varepsilon_0 = 1/(\mu_0 c^2)$	8.854 187 8128(13) pF/m	$1.5 \cdot 10^{-10}$
Ba trở trong chân không	$Z_0 = \sqrt{\mu_0/\varepsilon_0}$	376.730 313 668(57) Ω	$1.5 \cdot 10^{-10}$

BẢNG 28 (Tiếp theo) Các hằng số vật lý dẫn xuất.

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị theo đơn vị SI	Độ bđ.
Số Loschmidt	N_{L}	$2.686\,780\,111... \cdot 10^{25}\ 1/m^3$	0
ở 273.15 K và 101 325 Pa			
Hằng số Faraday	$F = N_{A}e$	96 485.332 12... C/mol	0
Hằng số khí phổ dụng	$R = N_{A}k$	8.314 462 618... J/(mol K)	0
Thể tích mol của khí lý tưởng	$V = RT/p$	22.413 969 54... l/mol	0
ở 273.15 K và 101 325 Pa			
Hằng số Rydberg [a]	$R_{\infty} = m_{e}c\alpha^2/(2h)$	$10\,973\,731.568\,160(21)\ m^{-1}$	$1.9 \cdot 10^{-12}$
Lượng tử độ dẫn	$G_0 = 2e^2/h$	77.480 917 29... μS	0
Lượng tử từ thông	$\varphi_0 = h/(2e)$	2.067 833 848... fWb	0
Tỷ số tần số Josephson	$2e/h$	483.597 8484... THz/V	0
Hằng số Von Klitzing	$h/e^2 = \mu_0 c/(2\alpha)$	25 812.807 45... Ω	0
Magneton Bohr	$\mu_{B} = e\hbar/(2m_{e})$	9.274 010 0783(28) yJ/T	$3.0 \cdot 10^{-10}$
Bán kính electron cổ điển	$r_{e} = e^2/(4\pi\varepsilon_0 m_{e}c^2)$	2.817 940 3262(13) fm	$4.5 \cdot 10^{-10}$
Bước sóng Compton	$\lambda_{C} = h/(m_{e}c)$	2.426 310 238 67(73) pm	$3.0 \cdot 10^{-10}$
của electron	$\lambda\!\!\!^{-}_{c} = \hbar/(m_{e}c) = r_{e}/\alpha$	0.386 159 267 96(12) pm	$3.0 \cdot 10^{-10}$
Bán kính Bohr [a]	$a_{\infty} = r_{e}/\alpha^2$	52.917 721 0903(80) pm	$1.5 \cdot 10^{-10}$
Lượng tử của lưu số	$h/(2m_{e})$	$3.636\,947\,5516(11)\ cm^2/s$	$3.0 \cdot 10^{-10}$
Điện tích riêng của positron	e/m_{e}	175.882 001 076(55) GC/kg	$3.0 \cdot 10^{-10}$
Tần số Cyclotron	$f_{c}/B = e/(2\pi m_{e})$	27.992 489 872(9) GHz/T	$3.0 \cdot 10^{-10}$
của electron			
Moment từ của electron	μ_{e}	−9.284 764 7043(28) yJ/T	$3.0 \cdot 10^{-10}$
	μ_{e}/μ_{B}	−1.001 159 652 181 28(18)	$1.7 \cdot 10^{-13}$
	μ_{e}/μ_{N}	$-1\,838.281\,971\,88(11) \cdot 10^3$	$6.0 \cdot 10^{-11}$
Thừa số g của electron	g_{e}	−2.002 319 304 362 56(35)	$1.7 \cdot 10^{-13}$
Tỷ khối muon–electron	m_{μ}/m_{e}	206.768 2830(46)	$2.2 \cdot 10^{-8}$
Moment từ của muon	μ_{μ}	$-4.490\,448\,30(10) \cdot 10^{-26}$ J/T	$2.2 \cdot 10^{-8}$
Thừa số g của muon	g_{μ}	−2.002 331 8418(13)	$6.3 \cdot 10^{-10}$
Đơn vị khối lượng nguyên tử	$1\ u = m_{^{12}C}/12$	$1.660\,539\,066\,60(50) \cdot 10^{-27}$ kg	$3.0 \cdot 10^{-10}$
Khối lượng proton	m_{p}	$1.672\,621\,923\,69(51) \cdot 10^{-27}$ kg	$3.1 \cdot 10^{-10}$
		1.007 276 466 621(53) u	$5.3 \cdot 10^{-11}$
		938.272 088 16(29) MeV	$3.1 \cdot 10^{-10}$
Tỷ khối proton–electron	m_{p}/m_{e}	1 836.152 673 43(11)	$6.0 \cdot 10^{-11}$
Điện tích riêng của proton	e/m_{p}	$9.578\,833\,1560(29) \cdot 10^7$ C/kg	$3.1 \cdot 10^{-10}$
Bước sóng Compton của proton	$\lambda_{C,p} = h/(m_{p}c)$	1.321 409 855 39(40) fm	$3.1 \cdot 10^{-10}$
Magneton hạt nhân	$\mu_{N} = e\hbar/(2m_{p})$	$5.050\,783\,7461(15) \cdot 10^{-27}$ J/T	$3.1 \cdot 10^{-10}$
Moment từ của proton	μ_{p}	$1.410\,606\,797\,36(60) \cdot 10^{-26}$ J/T	$4.2 \cdot 10^{-10}$
	μ_{p}/μ_{B}	$1.521\,032\,202\,30(46) \cdot 10^{-3}$	$3.0 \cdot 10^{-10}$
	μ_{p}/μ_{N}	2.792 847 344 63(82)	$2.9 \cdot 10^{-10}$
Tỷ số hồi chuyển từ của proton	$\gamma_{p} = 2\mu_{p}/h$	42.577 478 518(18) MHz/T	$4.2 \cdot 10^{-10}$

BẢNG 28 (Tiếp theo) Các hằng số vật lý dẫn xuất.

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị theo đơn vị SI	Độ bđ.
Thừa số g của proton	g_p	5.585 694 6893(16)	$2.9 \cdot 10^{-10}$
Khối lượng neutron	m_n	$1.674\,927\,498\,04(95) \cdot 10^{-27}$ kg	$5.7 \cdot 10^{-10}$
		1.008 664 915 95(43) u	$4.8 \cdot 10^{-10}$
		939.565 420 52(54) MeV	$5.7 \cdot 10^{-10}$
Tỷ khối neutron–electron	m_n/m_e	1 838.683 661 73(89)	$4.8 \cdot 10^{-10}$
Tỷ khối neutron–proton	m_n/m_p	1.001 378 419 31(49)	$4.9 \cdot 10^{-10}$
Bước sóng Compton của neutron	$\lambda_{C,n} = h/(m_n c)$	1.319 590 905 81(75) fm	$5.7 \cdot 10^{-10}$
Moment từ của neutron	μ_n	$-0.966\,236\,51(23) \cdot 10^{-26}$ J/T	$2.4 \cdot 10^{-7}$
	μ_n/μ_B	$-1.041\,875\,63(25) \cdot 10^{-3}$	$2.4 \cdot 10^{-7}$
	μ_n/μ_N	−1.913 042 73(45)	$2.4 \cdot 10^{-7}$
Hằng số Stefan–Boltzmann	$\sigma = \pi^2 k^4/(60\hbar^3 c^2)$	56.703 744 19... nW/(m^{2}K^4)	0
Hằng số dịch chuyển Wien	$b = \lambda_{max} T$	2.897 771 955... mmK	0
		58.789 257 57... GHz/K	0
Electron volt	eV	0.160 217 6634... aJ	0
Hệ số chuyển đổi bit sang entropy	$k \ln 2$	10^{23} bit = 0.956 994... J/K	0
Năng lượng của TNT		3.7 tới 4.0 MJ/kg	$4 \cdot 10^{-2}$

a. Đối với khối lượng hạt nhân lớn vô hạn.

Một số tính chất hữu ích của môi trường địa phương của chúng ta được cho trong bảng sau đây.

BẢNG 29 Các hằng số thiên văn.

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị
Năm tropic 1900 [a]	a	31 556 925.974 7 s
Năm tropic 1994	a	31 556 925.2 s
Ngày sao trung bình	d	$23^h 56' 4.090\,53''$
Khoảng cách Trái đất–Mặt trời trung bình [b]		149 597 870.691(30) km
Đơn vị thiên văn [b]	AU	149 597 870 691 m
Năm ánh sáng, căn cứ trên năm Julian [b]	al	9.460 730 472 5808 Pm
Parsec	pc	30.856 775 806 Pm = 3.261 634 al
Khối lượng Trái đất	$M_♁$	$5.973(1) \cdot 10^{24}$ kg
Hằng số hấp dẫn địa tâm	GM	$3.986\,004\,418(8) \cdot 10^{14}$ m^3/s^2
Chiều dài hấp dẫn của Trái đất	$l_♁ = 2GM/c^2$	8.870 056 078(16) mm
Bán kính xích đạo của Trái đất [c]	$R_{♁eq}$	6378.1366(1) km
Bán kính cực của Trái đất [c]	$R_{♁p}$	6356.752(1) km
Khoảng cách xích đạo–cực [c]		10 001.966 km (trung bình)
Độ phẳng của Trái đất [c]	$e_♁$	1/298.25642(1)
Mật độ trung bình của Trái đất	$\rho_♁$	5.5 Mg/m^3

BẢNG 29 (Tiếp theo) Các hằng số thiên văn.

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị
Tuổi Trái đất	$T_♁$	4.50(4) Ga = 142(2) Ps
Gia tốc trọng lực	g	$9.806\,65\ \mathrm{m/s^2}$
Áp suất khí quyển chuẩn của Trái đất	p_0	101 325 Pa
Bán kính Mặt trăng	$R_{☾\mathrm{v}}$	1738 km theo hướng của Trái đất
Bán kính Mặt trăng	$R_{☾\mathrm{h}}$	1737.4 km theo hai hướng khác
Khối lượng Mặt trăng	$M_☾$	$7.35 \cdot 10^{22}$ kg
Khoảng cách trung bình tới Mặt trăng [d]	$d_☾$	384 401 km
Khoảng cách tới Mặt trăng ở điểm cận địa [d]		tiêu biểu 363 Mm, cực tiểu trong lịch sử 359 861 km
Khoảng cách tới Mặt trăng ở điểm viễn địa [d]		tiêu biểu 404 Mm, cực đại trong lịch sử 406 720 km
Kích thước góc của Mặt trăng [e]		trung bình 0.5181° = 31.08 ′, cực tiểu 0.49°, cực đại 0.55°
Mật độ trung bình của Mặt trăng	$\rho_☾$	$3.3\ \mathrm{Mg/m^3}$
Gia tốc hấp dẫn tại bề mặt Mặt trăng	$g_☾$	$1.62\ \mathrm{m/s^2}$
Áp suất khí quyển Mặt trăng	$p_☾$	từ 10^{-10} Pa (đêm) tới 10^{-7} Pa (ngày)
Khối lượng Mộc tinh	$M_♃$	$1.90 \cdot 10^{27}$ kg
Bán kính Mộc tinh, xích đạo	$R_♃$	71.398 Mm
Bán kính Mộc tinh, cực	$R_♃$	67.1(1) Mm
Khoảng cách trung bình Mộc tinh-Mặt trời	$D_♃$	778 412 020 km
Gia tốc hấp dẫn tại bề mặt Mộc tinh	$g_♃$	$24.9\ \mathrm{m/s^2}$
Áp suất khí quyển Mộc tinh	$p_♃$	từ 20 kPa tới 200 kPa
Khối lượng Mặt trời	$M_⊙$	$1.988\,43(3) \cdot 10^{30}$ kg
Chiều dài hấp dẫn của Mặt trời	$2GM_⊙/c^2$	2.953 250 08(5) km
Hằng số hấp dẫn nhật tâm	$GM_⊙$	$132.712\,440\,018(8) \cdot 10^{18}\ \mathrm{m^3/s^2}$
Độ trưng của Mặt trời	$L_⊙$	384.6 YW
Bán kính xích đạo Mặt trời	$R_⊙$	695.98(7) Mm
Kích thước góc của Mặt trời		0.53° trung bình; cực tiểu vào ngày 4/7 (điểm viễn nhật) 1888 ″, cực đại vào ngày 4/1 (điểm cận nhật) 1952 ″
Mật độ trung bình của Mặt trời	$\rho_⊙$	$1.4\ \mathrm{Mg/m^3}$
Khoảng cách trung bình tới Mặt trời	AU	149 597 870.691(30) km
Tuổi Mặt trời	$T_⊙$	4.6 Ga
Vận tốc Mặt trời quanh tâm thiên hà	$v_{⊙\mathrm{g}}$	220(20) km/s
Vận tốc Mặt trời đối với nền vũ trụ	$v_{⊙\mathrm{b}}$	370.6(5) km/s
Gia tốc hấp dẫn tại bề mặt Mặt trời	$g_⊙$	$274\ \mathrm{m/s^2}$
Áp suất hạ quang quyển của Mặt trời	$p_⊙$	15 kPa
Khoảng cách tới tâm Ngân hà		8.0(5) kpc = 26.1(1.6) kal

BẢNG 29 (Tiếp theo) Các hằng số thiên văn.

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị
Tuổi Ngân hà		13.6 Ga
Kích thước Ngân hà		*c.* 10^{21} m hay 100 kal
Khối lượng Ngân hà		10^{12} khối lượng Mặt trời, *c.* $2 \cdot 10^{42}$ kg
Đám thiên hà xa nhất đã biết	SXDF-XCLJ 0218-0510	$9.6 \cdot 10^9$ al

a. Định nghĩa một hằng lượng giữa 2 lần đi qua điểm xuân phân liên tiếp; đã có lần người ta dùng nó để định nghĩa giây. (Nên nhớ: π s thì bằng cỡ một nano-thế kỷ.) Giá trị 1990 thì ít hơn khoảng 0.7 s, tương ứng với với việc đi chậm lại khoảng 0.2 ms/a. (Coi chừng: tại sao?) Có cả một công thức theo kinh nghiệm dành cho sự thay đổi chiều dài của năm theo thời gian.

Câu đố 324 s
Xem 308

b. Độ chính xác đáng kinh ngạc trong khoảng cách trung bình Trái đất–Mặt trời, vì chỉ có 30 m, là nhờ việc đo thời gian trung bình của các tín hiệu gởi từ phi thuyền Viking và phi thuyền thám hiểm Hoả tinh được thực hiện trong thời gian hơn 20 năm. Cũng nên nhớ rằng Hiệp hội thiên văn quốc tế phân biệt khoảng cách trung bình Trái đất–Mặt trời với *đơn vị thiên văn*; đại lượng sau được định nghĩa như một chiều dài cố định và chính xác. *Năm ánh sáng* cũng là một đơn vị được IAU định nghĩa là một con số chính xác. Để biết thêm chi tiết, hãy xem trang www.iau.org/public/measuring.

c. Hình dạng của Trái đất được Hệ thống trắc địa thế giới mô tả chính xác nhất. Ấn bản sau cùng đã có từ năm 1984. Để có một cái nhìn bao quát về nền tảng cũng như chi tiết, hãy xem website www.wgs84.com. Hiệp hội trắc địa quốc tế đã tinh lọc dữ liệu trong năm 2000. Bán kính và độ phẳng được ghi ra đây là dữ liệu dành cho 'hệ thuỷ triều trung bình'. Chúng khác với dữ liệu của 'hệ không thuỷ triều' và các hệ khác vào khoảng 0.7 m. Các thông tin cũng đã tự tạo thành một khoa học.

d. Được đo giữa 2 tâm. Để tìm vị trí chính xác của Mặt trăng vào ngày tháng đã cho, hãy xem trang www.fourmilab.ch/earthview/moon_ap_per.html. Đối với các hành tinh hãy xem trang www.fourmilab.ch/solar/solar.html và các trang khác trên cùng site.

e. Góc được định nghĩa như sau: 1 độ = $1^\circ = \pi/180$ rad, 1 phút (đầu tiên) = $1' = 1^\circ/60$, 1 giây (phút) = $1'' = 1'/60$. Các đơn vị cổ 'phút thứ 3' và 'phút thứ tư', mỗi đơn vị là 1/60 của đơn vị đứng trước, không còn được sử dụng nũa. ('Minute' có nghĩa là 'rất nhỏ' và nó vẫn còn giữ nghĩa đó trong Anh văn hiện đại.)

Một số tính chất của thiên nhiên ở tầm cỡ lớn được liệt kê trong bảng dưới đây. (Thêm một câu đố, bạn có thể xác định xem một tính chất bất kỳ của vũ trụ đã được liệt kê hay chưa?)

Câu đố 325 s

BẢNG 30 Các hằng số vũ trụ.

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị
Hằng số vũ trụ	Λ	*c.* $1 \cdot 10^{-52}$ m^{-2}
Tuổi của vũ trụ [a]	t_0	$4.333(53) \cdot 10^{17}$ s = $13.8(0.1) \cdot 10^9$ a
(được xác định từ không-thời gian, thông qua sự giãn nở, và sử dụng Thuyết tương đối tổng quát)		
Tuổi của vũ trụ [a]	t_0	trên $3.5(4) \cdot 10^{17}$ s = $11.5(1.5) \cdot 10^9$ a
(được xác định từ vật chất, thông qua các thiên hà và ngôi sao, sử dụng Thuyết lượng tử)		

BẢNG 30 (Tiếp theo) Các hằng số vũ trụ.

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị
Tham số Hubble [a]	H_0	$2.3(2) \cdot 10^{-18}\,\mathrm{s}^{-1} = 0.73(4) \cdot 10^{-10}\,\mathrm{a}^{-1}$
	$= h_0 \cdot 100\,\mathrm{km/s\,Mpc} = h_0 \cdot 1.0227 \cdot 10^{-10}\,\mathrm{a}^{-1}$	
Tham số Hubble rút gọn [a]	h_0	$0.71(4)$
Tham số giảm tốc [a]	$q_0 = -(\ddot{a}/a)_0/H_0^2$	$-0.66(10)$
Khoảng cách chân trời vũ trụ [a]	$d_0 = 3ct_0$	$40.0(6) \cdot 10^{26}\,\mathrm{m} = 13.0(2)\,\mathrm{Gpc}$
Topo của vũ trụ		độ không rời rạc lên tới 10^{26} m
Số chiều của không gian		3, cho các khoảng cách lên tới 10^{26} m
Mật độ tới hạn	$\rho_c = 3H_0^2/(8\pi G)$	$h_0^2 \cdot 1.878\,82(24) \cdot 10^{-26}\,\mathrm{kg/m^3}$
của vũ trụ		$= 0.95(12) \cdot 10^{-26}\,\mathrm{kg/m^3}$
Tham số mật độ (toàn phần) [a]	$\Omega_0 = \rho_0/\rho_c$	$1.02(2)$
Tham số mật độ Baryon [a]	$\Omega_{B0} = \rho_{B0}/\rho_c$	$0.044(4)$
Tham số mật độ vật chất tối lạnh [a]	$\Omega_{CDM0} = \rho_{CDM0}/\rho_c$	$0.23(4)$
Tham số mật độ Neutrino [a]	$\Omega_{\nu 0} = \rho_{\nu 0}/\rho_c$	0.001 to 0.05
Tham số mật độ năng lượng tối [a]	$\Omega_{X0} = \rho_{X0}/\rho_c$	$0.73(4)$
Tham số trạng thái năng lượng tối	$w = p_X/\rho_X$	$-1.0(2)$
Khối lượng Baryon	m_b	$1.67 \cdot 10^{-27}\,\mathrm{kg}$
Mật độ số Baryon		$0.25(1)\,/\mathrm{m^3}$
Mật độ vật chất sáng		$3.8(2) \cdot 10^{-28}\,\mathrm{kg/m^3}$
Số ngôi sao trong vũ trụ	n_s	$10^{22\pm1}$
Số Baryon trong vũ trụ	n_b	$10^{81\pm1}$
Nhiệt độ nền vi ba [b]	T_0	$2.725(1)\,\mathrm{K}$
Số Photon trong vũ trụ	n_γ	10^{89}
Mật độ năng lượng Photon	$\rho_\gamma = \pi^2 k^4/(15T_0^4)$	$4.6 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg/m^3}$
Mật độ số Photon		$410.89\,/\mathrm{cm^3}$ hay $400\,/\mathrm{cm^3}(T_0/2.7\,\mathrm{K})^3$
Biên độ nhiễu loạn mật độ	$\sqrt{S}$	$5.6(1.5) \cdot 10^{-6}$
Biên độ sóng hấp dẫn	$\sqrt{T}$	$< 0.71\sqrt{S}$
Thăng giáng khối lượng cho 8 Mpc	σ_8	$0.84(4)$
Chỉ số vô hướng	n	$0.93(3)$
Độ biến thiên của chỉ số vô hướng	$\mathrm{d}n/\mathrm{d}\ln k$	$-0.03(2)$
Chiều dài Planck	$l_{Pl} = \sqrt{\hbar G/c^3}$	$1.62 \cdot 10^{-35}\,\mathrm{m}$
Thời gian Planck	$t_{Pl} = \sqrt{\hbar G/c^5}$	$5.39 \cdot 10^{-44}\,\mathrm{s}$
Khối lượng Planck	$m_{Pl} = \sqrt{\hbar c/G}$	$21.8\,\mu\mathrm{g}$
Số khoảnh khắc trong lịch sử [a]	t_0/t_{Pl}	$8.7(2.8) \cdot 10^{60}$
Số điểm không-thời gian	$N_0 = (R_0/l_{Pl})^3 \cdot$	$10^{244\pm1}$
trong chân trời [a]	(t_0/t_{Pl})	
Khối lượng trong chân trời	M	$10^{54\pm1}\,\mathrm{kg}$

a. Chỉ số 0 chỉ giá trị hiện tại.

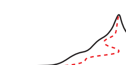
b. Bức xạ phát sinh khi vũ trụ được 380 000 tuổi và có nhiệt độ khoảng 3000 K; độ thăng giáng ΔT_0 dẫn tới việc hình thành thiên hà ngày nay khoảng $16 \pm 4\,\mu\text{K} = 6(2) \cdot 10^{-6}\,T_0$.

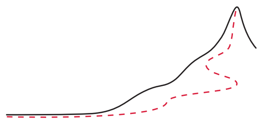
Quyển II, trang 235

Các số hữu ích

Xem 309

π	$3.14159\,26535\,89793\,23846\,26433\,83279\,50288\,41971\,69399\,37510_5$
e	$2.71828\,18284\,59045\,23536\,02874\,71352\,66249\,77572\,47093\,69995_9$
γ	$0.57721\,56649\,01532\,86060\,65120\,90082\,40243\,10421\,59335\,93992_3$
ln 2	$0.69314\,71805\,59945\,30941\,72321\,21458\,17656\,80755\,00134\,36025_5$
ln 10	$2.30258\,50929\,94045\,68401\,79914\,54684\,36420\,76011\,01488\,62877_2$
$\sqrt{10}$	$3.16227\,76601\,68379\,33199\,88935\,44432\,71853\,37195\,55139\,32521_6$





Gợi ý và lời giải các câu đố

Câu đố 1, trang 10: Đừng vội vã đòi hỏi khắt khe. Ấn bản kế tiếp của sách sẽ được lợi vì điều này.

Câu đố 3, trang 17: Điện trường làm cho ngọn lửa biến dạng hướng ra xa cái lược. Hiệu ứng được thể hiện trong Hình 187. Một video của hiệu ứng tương tự trong một điện trường mạnh hơn có ở trang www.youtube.com/watch?v=a7_8Gc_Llr8.

Câu đố 4, trang 20: Các giọt nước phải tách ra khỏi dòng *bên trong* đối điện cực kim loại. Luôn luôn có một điện lượng nhỏ ở đâu đó trong các vật kim loại (bắt nguồn từ tia vũ trụ, sự cọ xát, tích điện từ trước, ...). Trong Hình 186, điện tích ban đầu này là điện tích dương xuất hiện trên phần dưới bên trái và phần trên bên phải của ống kim loại. Khi giọt nước hình thành, chúng lấy điện tích trái dấu với điện tích của vùng kim loại bao quanh chúng. Giọt nước mang điện âm rơi vào xô bên kia. Qua việc tích điện âm ở đó, điện tích dương trong xô đầu tiên tăng lên. Khi điện tích trong các hộp tăng lên, sự tách điện tích trong các giọt nước càng mạnh. Nói cách khác, việc tạo thành các giọt nước trong ống kim loại *khuếch đại* các điện tích ban đầu. Sau một thời gian, điện tích và hiệu thế lớn đến nỗi nó tạo ra một tiếng nổ lớn (nếu các vật khô ráo, kể cả không khí). Sau đó quá trình lại tái diễn. Đúng ra một cơ chế tách điện tích gần giống như vậy đã xảy ra trong mây và dẫn tới hiện tượng sét. Nếu bạn muốn tạo dựng một máy phát điện Kelvin tại nhà, hãy ghé thăm trang de.wikipedia.org/wiki/Kelvin-Generator hay tìm các website về chủ đề này.

Để tránh tia lửa điện trong bình xăng xe, Opel chỉ cần nối đất ống kim loại ở miệng bình xăng vì họ đã quên bảo đảm sự tiếp xúc điện tốt giữa ống và thân xe.

Việc cháy nổ nhiên liệu cũng có thể xảy ra khi bạn đổ nhiên liệu vào trong xe từ một bình chứa kim loại. Đã có nhiều lần, các tên trộm nhiên liệu đã bị ‘trừng trị’ bằng các vụ nổ do tĩnh điện khi chúng cố đổ nhiên liệu trộm được vào trong xe mình. Bạn có thể thấy tại các phi trường cách người ta phòng ngừa việc này: trước khi gắn ống nhiên liệu vào phi cơ, công nhân sẽ cột một dây dẫn nối xe xăng (hay xe bồn) vào phi cơ.

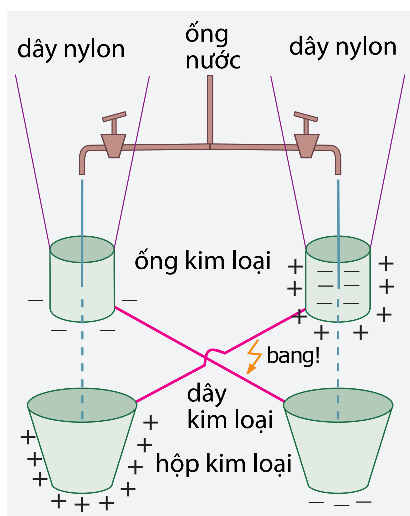
Câu đố 5, trang 21: Ta quan sát 2 tia lửa điện qua 2 gương quay nhanh. Bằng cách này, các hiệu thời gian nhỏ sẽ dẫn tới sự khác biệt về vị trí của 2 tia lửa điện. Vào thế kỷ 19, tốc độ đo được bằng cách này thay đổi từ 6000 km/s tới trên 100 000 km/s vì tốc độ này phụ thuộc vào điện dung và điện cảm hiệu dụng của cuộn dây và thiết bị. Chỉ khi nào ta có thể bỏ qua các hiệu ứng này thì tốc độ đo được mới giống như tốc độ ánh sáng trong chân không, cụ thể là khoảng 300 000 km/s.
Trang 32 Trong các dây cáp hiện đại, tốc độ điển hình khoảng 1/3 tốc độ này.

Câu đố 6, trang 22: Nhiều tiếng động vang lên do con lắc kim loại gõ mạnh vào 2 chuông cố định.

Câu đố 8, trang 26: Không.

Câu đố 9, trang 26: Trường cách electron 1 m là 1.4 nV/m.

Câu đố 10, trang 27: Định luật nghịch đảo của bình phương là một hiệu ứng hình học đơn giản: một dòng vật chất thuần nhất chảy ra ngoài một mặt cầu thì giảm đi theo bình phương của



HÌNH 186 Quá trình chủ yếu trong máy phát điện Kelvin: sự tách điện tích xảy ra khi tạo thành các giọt nước.



HÌNH 187 Cách phản ứng của ngọn lửa đặt gần lược tích điện (© Shubham Das and Rakesh Kumar).

khoảng cách.

Câu đố 11, trang 28: Ta có $F = \alpha\hbar c N_A^2/4R^2 = 3 \cdot 10^{12}$ N, một lực khổng lồ, tương đương với trọng lượng của vật nặng 300 triệu tấn. Nó cho thấy chính lực khổng lồ này giữ chặt vật chất với

nhau. Dĩ nhiên là ta không có cách để giữ 1 g điện tích dương trong một cái hộp vì lực đẩy giữa chúng còn lớn hơn nữa.

Câu đố 13, trang 29: Để chứng minh đầy đủ sự tương đương giữa 'định luật' Coulomb và 'định luật' Gauss trước hết ta cần chứng minh là nó đúng đối với một điện tích điểm. Sau đó mở rộng kết quả này cho nhiều điện tích điểm. Điều này đã cho 'định luật' Gauss có dạng tích phân, như ta đã thấy ở câu đố trước.

Để tìm ra dạng tích phân của 'định luật' Gauss đối với 1 điện tích điểm ta phải lấy tích phân trên một mặt đóng. Điểm quan trọng ở đây là ta phải lưu ý rằng chỉ có thể lấy tích phân đối với sự phụ thuộc kiểu nghịch đảo của bình phương. Kiểu phụ thuộc này cho phép ta biến đổi tích vô hướng giữa trường địa phương và diện tích nguyên tố thành tích thông thường giữa điện tích và góc khối Ω:

$$\boldsymbol{E}\,\mathrm{d}\boldsymbol{A} = \frac{q\mathrm{d}A\cos\theta}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{q\mathrm{d}\Omega}{4\pi\varepsilon_0} \,. \tag{112}$$

Trong trường hợp mặt đóng việc tính tích phân rất dễ dàng.

Để suy ra dạng vi phân của 'định luật' Gauss (tĩnh), cụ thể là

$$\nabla\boldsymbol{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \,, \tag{113}$$

ta sử dụng mật độ điện tích ρ và hệ thức toán học

$$\oint_{\text{mặt kín}} \boldsymbol{E}\,\mathrm{d}\boldsymbol{A} = \int_{\text{thể tích được bao}} \nabla\boldsymbol{E}\,\mathrm{d}\boldsymbol{V} \,. \tag{114}$$

Hệ thức này đúng với mọi trường vector $\boldsymbol{E}$, được gọi là *định lý Gauss*: thông lượng là tích phân thể tích của divergence.

Để suy ra dạng đầy đủ của định luật Gauss, bao gồm đạo hàm theo thời gian của từ trường, ta cần gộp thêm các hiệu ứng tương đối tính bằng cách đổi sang quan điểm của một quan sát viên chuyển động.

Câu đố 15, trang 29: Các vật không tích điện có thể hút nhau nếu chúng được tạo thành từ các thành phần mang điện trung hoà lẫn nhau và các điện tích này có độ linh động giới hạn. Sự thăng giáng điện tích sẽ làm cho vật hút nhau. Nhiều phân tử tương tác với nhau theo cách này; những lực này cũng là nền tảng cho lực căng mặt ngoài và sự tạo thành giọt.

Câu đố 16, trang 29: Không; pin chỉ tách điện tích và bơm chúng chạy vòng quanh.

Câu đố 17, trang 32: Tỷ số q/m của electron và của các điện tích tự do trong kim loại không giống nhau.

Câu đố 19, trang 34: Hãy khám phá cách kiểm tra vấn đề này, thực hiện thí nghiệm và công bố kết quả!

Câu đố 20, trang 41: Nếu bạn biết hãy công bố kết quả. Các nhà nghiên cứu đã thử đặt người trên đại dương trong những ngày u ám, đã thử các thí nghiệm trong phòng tối nhưng cho đến nay vẫn chưa tìm thấy điều gì. Kinh nghiệm của những người trong thiết bị chụp ảnh cộng hưởng từ cũng không đem lại kết quả gì.

Câu đố 22, trang 47: Không.

Câu đố 24, trang 48: Phiên bản đúng của 'định luật' Ampère là

$$\nabla\times\boldsymbol{B} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial\boldsymbol{E}}{\partial t} = \mu_0\boldsymbol{j} \tag{115}$$

trong khi biểu thức trong bài thiếu số hạng $\frac{\partial\boldsymbol{E}}{\partial t}$.

Để có thể hiểu thêm về sự khác nhau giữa 2 phiên bản đúng và sai của 'định luật' Ampère, hãy đọc Richard P. Feynman, Robert B. Leighton & Matthew Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, volume II, Addison Wesley, p. 21-1, 1977. Có thể đọc miễn phí tại www.feynmanlectures.info.

Câu đố 25, trang 49: Chỉ có các phép biến đổi với vận tốc tương đối tính mới hoà trộn từ trường và điện trường thành một lượng đáng kể.

Câu đố 27, trang 50: Trường đối ngẫu $*\boldsymbol{F}$ được định nghĩa ở Trang 79.

Câu đố 28, trang 51: Tích vô hướng của 4 vector thì luôn luôn là các đại lượng bất biến Lorentz.

Câu đố 29, trang 51: Việc tạo ra tia X cần sự tập trung năng lượng cao; sinh hệ không có các mức năng lượng như vậy.

Câu đố 30, trang 51: Sóng điện tần số thấp được sinh ra trong hệ thần kinh và đặc biệt là trong não. Như đã nói ở trên, các loài cá khác nhau giao tiếp với nhau thông qua các trường lưỡng Xem 16 cực điện thay đổi theo thời gian. Nhưng người ta chưa thấy sự liên lạc thông qua *sóng vô tuyến*. Đúng ra việc có các hệ như vậy không có nhiều hy vọng. Tại sao? (Gợi ý: hãy nghĩ về tần số, sự phát sinh ra chúng và các tính chất vật lý của nước và không khí.)

Câu đố 33, trang 54: Hầu như mọi hạt trung hoà đều được tạo ra từ các hạt mang điện. Vì vậy giới hạn tốc độ vẫn có thể áp dụng cho chúng. Chỉ có một ngoại lệ: neutrino. Đối với chúng, lập luận này không có giá trị. Tuy vậy, neutrino có các hạt *ảo* mang điện bao quanh nên tốc độ cực đại vẫn có thể áp dụng cho chúng được.

Trang 54 **Câu đố** 34, trang 55: Như đã giải thích, đối với một quan sát viên bay cùng với dây, biến cố điện tích vào và ra không còn xảy ra đồng thời; dây có mang điện đối với người chuyển động. Như vậy có một từ trường quanh dây đối với quan sát viên chuyển động *bất kỳ*.

Câu đố 35, trang 56: Độ rọi của Mặt trời làm thay đổi sự ion hoá trên thượng tầng không khí và gây ra sự đối lưu trong ion-quyển. Thuỷ triều làm chuyển động các ion trong đại dương và khí Trang 64 quyển. Các dòng điện này gây ra từ trường mà ta có thể nhận ra trong các kim la bàn rất nhạy.

Câu đố 36, trang 56: Nếu bạn tìm được một hiệu ứng như vậy và có thể chứng minh nó, hãy công bố nó trên một tạp chí giáo dục.

Câu đố 37, trang 56: Thường thì các đường dây cao thế rất nóng nên chim không thể thoải mái được.

Câu đố 38, trang 56: Đặt chúng thành hình chữ T.

Câu đố 39, trang 57: Gợi ý: đèn sáng thì nóng.

Câu đố 40, trang 57: Trường hợp 3 hay 4 công tắc, ta sử dụng một công tắc đảo điện; đây là một công tắc 2 ngõ vào và 2 ngõ ra mà tại một vị trí, ngõ vào 1 và 2 nối với ngõ ra 1 và 2 tương ứng và tại một vị trí khác ngõ vào 1 nối với ngõ ra 2 và ngược lại. (Mặc dù vậy vẫn có các khả năng khác; có thể tiết kiệm dây dẫn bằng cách sử dụng các relay điện từ.)

Câu đố 42, trang 58: Em bé tóc vàng có tóc mảnh mai nhất nên cho tác dụng lớn nhất. Cũng cần thời tiết khô ráo để tránh sự ẩm ướt của không khí gây ra sự phóng điện trên đầu khiến cho tóc không dựng lên được.

Câu đố 43, trang 58: Ta có thể truyền tải điện năng vô tuyến; tuy vậy, cho tới bây giờ các hệ này thường là lớn, đắt tiền và có hại cho sức khoẻ con người. Ý tưởng thu gom năng lượng mặt trời trong không gian rồi chiếu nó xuống Trái đất dưới dạng vi ba cũng thường được đưa ra. Tài chánh và mối hiểm nguy đã ngăn trở ý tưởng này.

Câu đố 45, trang 60: Dán 2 gương vuông góc với nhau. Hay tự quan sát trên TV bằng cách sử dụng một máy quay phim.

Câu đố 46, trang 60: Đây lại là một thí dụ về sự kết hợp hiện tượng phát quang do ma sát và hiện tượng nhiễm điện do ma sát. Cũng nên ghé thăm website scienceworld.wolfram.com/physics/

Triboluminescence.html và www.geocities.com/RainForest/9911/tribo.htm.

Câu đố 49, trang 63: Tiêu nhẹ hơn muối nên có phản ứng với muỗng trước muối.

Câu đố 50, trang 64: Với bước sóng 546.1 nm (màu lục tiêu chuẩn), nó lớn hơn 18 bước sóng một chút.

Câu đố 51, trang 65: Kích thước góc của Mặt trời quá lớn; hiện tượng nhiễu xạ không có vai trò gì ở đây.

Câu đố 52, trang 65: Chỉ cần dùng máy ảnh tốc độ cao.

Câu đố 53, trang 65: Dòng điện chạy vuông góc với từ trường sẽ bị lệch đi và kéo theo nam châm.

Câu đố 54, trang 65: Tương đương đơn giản nhất của một cuộn dây là một vật được làm quay bằng dòng nước. Biến thế lúc đó sẽ gồm 2 vật như vậy nối với nhau xuyên qua trục của chúng.

Câu đố 55, trang 66: Ánh sáng đi quanh Trái đất 7 vòng trong 1s.

Câu đố 59, trang 66: Không có nam châm vĩnh cửu nào trong thiên nhiên đặt vừa trong sàn nhà và đủ mạnh để nâng giường lên độ cao từ 50 tới 80 cm. (Nên chú ý rằng trong một hình độ lơ lửng lớn đến nỗi chân của người phụ nữ không chạm lên sàn nhà.) Và ai đã thử làm việc này với một nam châm điện đều biết rằng một thiết bị như vậy sẽ lớn hơn cả căn phòng.

Hãy nhìn kỹ các tấm hình, bạn cũng sẽ nhận ra đó không phải là hình chụp: có những lỗi về bóng và ảnh phản chiếu của người phụ nữ. Và quan trọng nhất là không ai cắt nửa giường ra ngoài bức ảnh với người ngồi trên giường. Sau cùng chưa ai thấy một cái giường nổi như trong bức ảnh.

Câu đố 61, trang 67: Phần toán học cần để tìm ra lời giải rất thú vị. Hãy thám hiểm lĩnh vực này!

Câu đố 62, trang 68: Lớp điện tích phủ có tác dụng khiến cho chỉ có các ion của một loại điện tích đi qua rãnh. Kết quả là điện tích bị tách ra 2 bên chất lỏng và dòng điện được sinh ra.

Câu đố 63, trang 68: Lực hút khi ở gần bắt nguồn từ 'ảnh lực' là lực hút giữa một điện tích và một mặt dẫn điện bất kỳ. Đo khoảng cách d từ tâm hình cầu, lực đẩy sẽ bắt đầu tác dụng khi $d > 1.618R$.

Câu đố 64, trang 68: Dòng điện rò sẽ làm thay đổi kết quả. Tỷ số 2 hiệu thế trong thời gian dài tỷ lệ với tỷ số 2 điện trở rò $V_1/V_2 = R_1/R_2$, có thể chứng minh dễ dàng bằng thực nghiệm.

Câu đố 65, trang 68: Dây dẫn song song với dây điện cao thế tạo thành một tụ điện. Hiệu thế xuất hiện đủ để làm cho đèn neon phát sáng.

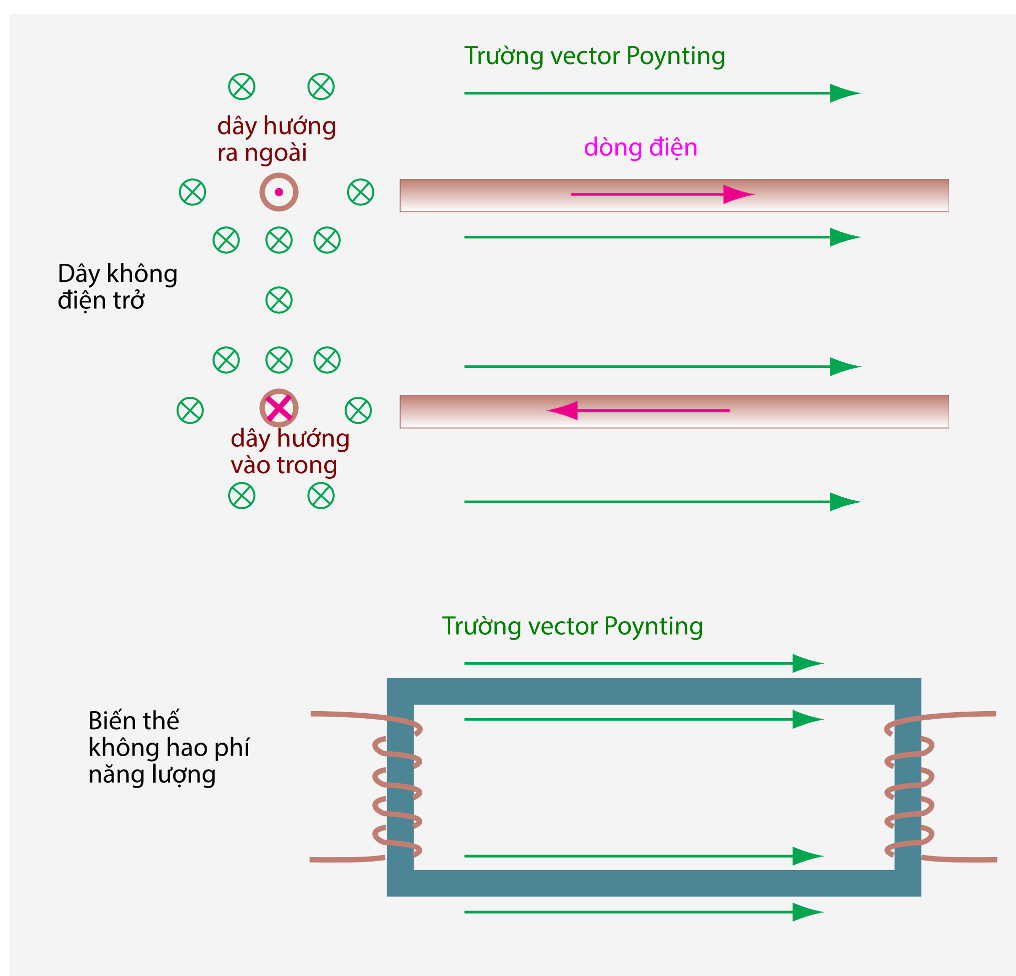
Câu đố 66, trang 68: Nước làm gián đoạn các tia lửa điện nhỏ, được gọi là *aigrette, 'chùm tia sáng'*. Khi có một đợt phóng điện mới, nó tạo ra một tiếng động nhỏ. Rồi nước lại làm gián đoạn và quá trình lặp lại. Aigrette là một dạng phóng điện hào quang; hiện tượng này gây ra sự mất mát năng lượng và hiện tượng giao thoa sóng vô tuyến.

Câu đố 67, trang 69: Xem ở trên, phần nói về bất biến.

Câu đố 70, trang 69: Kiểu thức này không áp dụng được cho không gian 3 chiều. Một nỗ lực sửa chữa sai lầm là của F. De Flaviis, M. Noro & N. G. Alexopoulos, *Diaz-Fitzgerald time domain (D-FTD) method applied to dielectric and lossy materials*, preprint available online at www.researchgate.net.

Câu đố 71, trang 70: Tìm kiếm trên web, thí dụ như trang blog.biodiversitylibrary.org/2012/06/narwhal-oceans-one-toothed-wonder.html hay narwhalslefttooth.blogspot.de/2011/05/narwhal-tusk-debate.html.

Câu đố 76, trang 82: Phần động lượng thường rất nhỏ này bị điện từ trường mang đi. Nếu động lượng điện từ được cho bởi một thế vector thì bạn có thể kiểm tra tính đúng đắn của các kết quả hay không?



HÌNH 188 Trường vector Poynting đối với dây không có điện trở và trường hợp biến thế dài không mất mát năng lượng.

Câu đố 77, trang 83: Trường tuyến và các mặt đẳng thế luôn luôn vuông góc với nhau. Như vậy trường tuyến không thể đi qua mặt đẳng thế 2 lần.

Câu đố 88, trang 90: Xem Hình 188. Nếu dây không có điện trở, phần lớn năng lượng chỉ chảy bên ngoài 2 vật dẫn và song song với chúng. Nếu dây có điện trở, vector Poynting hơi hướng về phía dây dẫn. Trong trường hợp biến thế, có thể suy ra từ trường hợp của dây dẫn thông qua sự tương tự được minh hoạ trong hình, hãy tham khảo bài báo rất hay của F. Herrmann & G. B. Schmid, *The Poynting vector field and the energy flow within a transformer*, American Journal of Physics 54, pp. 528–531, 1986.

Câu đố 87, trang 90: Có sự giống nhau về sự gia tăng entropy: các quá trình ngược có thể xảy ra nhưng xác suất nhỏ đến nỗi trong thực tế chúng không xảy ra. Xác suất cực thấp bắt nguồn từ sự thăng giáng của môi trường.

Câu đố 90, trang 91: Chỉ cần vẽ một dòng điện trong một cuộn dây với từ trường của nó, rồi vẽ ảnh qua gương của dòng điện và vẽ lại từ trường.

Câu đố 91, trang 91: Các bất đối xứng khác trong thiên nhiên còn có tính xoắn ốc của các phân

tử DNA tạo nên nhiễm sắc thể và nhiều phân tử khác trong các sinh hệ, tính thuận tay phải của nhiều người, sự bất đối xứng của các loài cá thường nằm sát đáy biển.

Câu đố 92, trang 92: Không thể giải thích sự khác nhau giữa trái và phải bằng cách sử dụng các hệ/hiệu ứng hấp dẫn hay điện từ. Cách duy nhất là sử dụng tương tác hạt nhân yếu như ta đã chứng minh trong chương nói về hạt nhân.

Quyển V, trang 240

Câu đố 93, trang 92: Lagrangian không đổi nếu một trong 3 toạ độ đổi dấu.

Câu đố 94, trang 92: Ảnh bị lật lên: việc quay đi 90 độ sẽ quay ảnh đi 180 độ.

Câu đố 95, trang 93: Hãy tưởng tượng $\boldsymbol{E}$ và $\boldsymbol{B}$ là các vector đơn vị của 2 trục trong không gian phức. Như vậy một phép quay bất kỳ của các trục này cũng là một phép đối xứng đối ngẫu suy rộng.

Câu đố 97, trang 96: Moment động lượng được đưa vào hệ thống khi nó được tạo ra. Nếu ta mang 1 điện tích điểm từ vô cực dọc theo một đường thẳng tới vị trí sau cùng gần một lưỡng cực từ, từ lực tác dụng lên điện tích sẽ không hướng theo phương chuyển động. Do đó nó tạo ra một moment lực quanh điểm gốc. Hãy đọc J. M. Aguirregabiria & A. Hernandez, *The Feynman paradox revisited*, European Journal of Physics 2, pp. 168–170, 1981.

Câu đố 98, trang 96: Hãy chứng tỏ rằng mặc dù từ trường theo tia của sóng cầu bằng 0 theo định nghĩa, các phương trình Maxwell lại đòi hỏi nó khác 0. Vì sóng điện từ là sóng ngang, thì chứng minh nó không thể chải một hình cầu có tóc không có xoáy (kép) hay hai xoáy đơn cũng đủ. Ngoài các phát biểu này, Thuyết lượng tử cũng làm thay đổi hình ảnh này đi một chút: xác suất phát xạ 1 photon từ một nguyên tử bị kích thích ở trạng thái suy biến có tính đối xứng cầu một cách chính xác.

Câu đố 99, trang 96: Nếu ta tính đến sự bảo toàn động lượng và moment động lượng thì không có sự nhập nhằng này. Hãy đọc thí dụ như quyển W. H. Furry, *Examples of momentum distributions in the electromagnetic field and in matter*, American Journal of Physics 37, pp. 621–636, 1969.

Câu đố 100, trang 97: Bức xạ phát ra bị tắt nhanh vì vì kích thước của ổ cắm (lưỡng cực) nhỏ hơn bước sóng của trường rất nhiều.

Câu đố 102, trang 97: Không. Người ta không tìm thấy động cơ điện từ lẫn cuộn dây trong sinh hệ. Bắp thịt, bộ dẫn động mạnh nhất trong sinh học chủ yếu được cấu tạo từ một số lớn các động cơ tĩnh điện. Lý do cơ bản cho sự khác nhau này là các động cơ *điện từ* vi mô có hiệu suất thấp so với động cơ *tĩnh điện* vi mô. Ở mức vĩ mô thì điều này lại ngược lại.

Câu đố 104, trang 103: Trong mọi trường hợp giao thoa, năng lượng được tái phân bố theo các hướng khác nhau. Đây là quy luật tổng quát; đôi khi phải tinh ý mới khám phá ra hướng này.

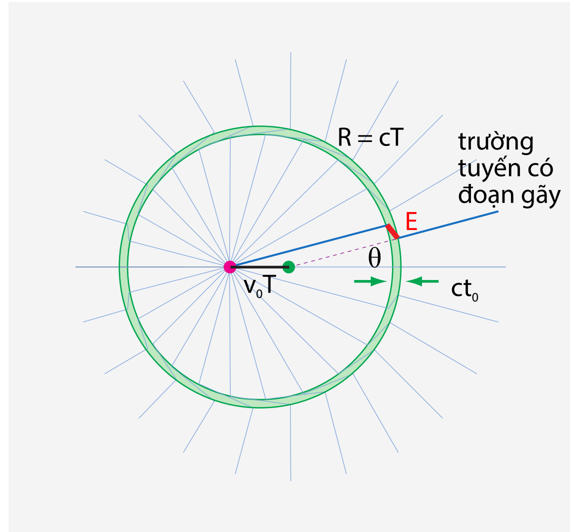
Câu đố 105, trang 103: Tác giả thường thấy khoảng 7 vạch; giả sử khoảng cách là 20 μm, thì mỗi vạch chiếm 3 μm. Bước sóng phải nhỏ hơn giá trị này và tần số phải lớn hơn 100 THz. Giá trị thực của các màu khác nhau được cho trong bảng phổ điện từ.

Câu đố 107, trang 104: Khoảng cách l giữa các vạch của một hình giao thoa là $l = \lambda d/s$, trong đó d là khoảng cách đến màn và s là khoảng cách giữa 2 nguồn.

Để biết thêm về hiện tượng giao thoa và điều kiện xảy ra, hãy tìm hiểu khái niệm số Fresnel. Số Fresnel cho phép ta phân biệt 'trường xa' với 'trường gần', hai trường hợp thường xảy ra trong nhiều hiện tượng sóng.

Câu đố 108, trang 105: Ông nhận thấy rằng khi một lăng kính tạo ra một cầu vồng, một nhiệt kế đặt ở vùng sau màu đỏ có nhiệt độ tăng lên.

Câu đố 110, trang 112: Tính lưỡng chiết xuất hiện khi sự khúc xạ phụ thuộc vào sự phân cực. Chỉ có 2 loại phân cực tuyến tính độc lập nên không thể có sự tam chiết trong thiên nhiên. Tính chất này vẫn đúng cho các tinh thể có 3 chiết suất khác nhau theo 3 hướng!



HÌNH 189 Tính điện trường ngang E của một điện tích có gia tốc trong một thời gian ngắn.

Câu đố 111, trang 113: Ánh sáng phản xạ từ mặt nước bị phân cực một phần. Ảo ảnh thì không.

Câu đố 112, trang 118: Hình 189 biểu diễn các điện trường tuyến. Ta giả sử rằng điện tích chuyển động với vận tốc đầu v_0 nhỏ so với c và nó giảm về zero trong thời gian t_0. Sau thời gian T, xung bức xạ đã di chuyển một đoạn $R = cT$, trong đó $T \gg t_0$. Hình vẽ chứng tỏ rằng ở khúc gãy, màu đỏ, tỷ số trường ngang E_t và trường xuyên tâm E_r là độ dốc của đoạn gãy. (Tại sao?) Phép tính hình học cho ta

$$\frac{E_t}{E_r} = \frac{v_0 T \sin\theta}{c t_0} = \frac{aR\sin\theta}{c^2} . \tag{116}$$

Thay biểu thức Coulomb vào trường xuyên tâm ta được

$$E_t = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 c^2}\frac{a\sin\theta}{R} . \tag{117}$$

Như vậy trường ngang giảm đi theo $1/R$. Ngoài ra, trường này phụ thuộc vào góc θ; ta có thể thấy điều này trong cả 2 Hình 189 và Hình 69 trên Trang 117. Nói cách khác, antenne phát có một hướng phát năng lượng ưu tiên là hướng vuông góc với hướng gia tốc.

Câu đố 113, trang 120: Một quan sát viên như vậy sẽ cảm nhận một trường tĩnh nhưng gợn sóng, không thể hiện hữu, như các phương trình của trường điện từ cho ta thấy.

Câu đố 114, trang 120: Bạn sẽ không bao giờ chết. Bạn có thể đến được nơi tận cùng của vũ trụ không?

Câu đố 117, trang 121: Một mặt 1 m^2 đặt vuông góc với ánh sáng nhận được khoảng 1 kW bức xạ. Nó tạo ra một áp suất giống như trọng lượng của khoảng 0.3 mg vật chất. Đối với thể đen nó là 3 µPa và đối với gương thì nó lớn gấp đôi.

Câu đố 118, trang 123: Mặt sáng bóng sẽ nhận được động lượng bằng 2 lần mặt đen nên sẽ bị đẩy ngược lại.

Câu đố 120, trang 125: Quay ánh sáng có thể hiểu theo 2 cách: quay kiểu thức cường độ quanh hướng truyền sóng hay quay kiểu thức phân cực quanh hướng truyền sóng. Ta đều có thể làm cả 2 cách này: một lăng kính Dove quay kiểu thức cường độ (và phân cực) và một bản nửa sóng

chỉ quay kiểu thức phân cực đối với một bước sóng cố định. Cả hai đều có thể thực hiện với sự sắp đặt gương như đã giải thích ở trên. Trang 140

Câu đố 122, trang 125: Các hình giao thoa thay đổi khi màu sắc thay đổi. Cầu vồng cũng xuất hiện vì màu sắc khác nhau do tần số khác nhau.

Câu đố 124, trang 126: Cầu vồng bậc 3 và bậc 4 tạo thành một vòng cung quanh Mặt trời. Để thấy chúng, ta thường phải ở đằng sau một cao ốc hay thân cây che hướng nhìn thẳng về Mặt trời. Năm 2011, chỉ có một ít hình cầu vồng bậc 3 và 1 hình cầu vồng bậc 4 trên toàn thế giới.

Câu đố 125, trang 127: Cầu vồng đầy đủ tròn như một đường tròn. Bạn có thể tạo ra một cầu vồng trong vườn bằng một vòi tưới nước nếu bạn cầm vòi trong tay trong khi đứng trên ghế, lưng quay về phía Mặt trời chiếu. (Ôi, một phần nhỏ bị mất; bạn biết đó là phần nào không?) Vòng tròn bắt nguồn từ hình cầu của giọt nước. Nếu giọt nước có hình dạng khác, *và* nếu ta sắp chúng thẳng hàng, cầu vồng sẽ có hình dạng khác hình tròn.

Câu đố 128, trang 134: Lấy một tấm film của một vụ bùng nổ của một siêu tân tinh ở xa hay tốt hơn là một bùng nổ quang hay tia gamma và kiểm tra xem sự bùng nổ xảy ra của các màu khác nhau có đồng thời hay không. Điều này đã được thực hiện rộng rãi mà người ta không phát hiện được sự khác biệt nào trong phạm vi sai số của thí nghiệm.

Câu đố 129, trang 136: Tính chất của vận tốc tiên hành tương ứng với bước sóng hiệu dụng khả hữu ngắn nhất; do đó ta tính nó bằng cách lấy giới hạn khi tần số dần tới vô cực.

Câu đố 130, trang 136: Ánh sáng được phát ra từng xung; như vậy đó là vận tốc của năng lượng.

Câu đố 131, trang 136: Trong vật chất, năng lượng được truyền đến các nguyên tử, trở lại thành ánh sáng, rồi đi đến nguyên tử kế tiếp, v.v... Điều này làm mất thời gian và làm chậm sự lan truyền.

Câu đố 132, trang 138: Đối với các photon đơn lẻ, độ từ thẩm, độ điện thẩm và trở kháng của sóng không xác định. Bất biến bảo giác, số chiều và topo không có giá trị ở các thang đo Planck nhỏ bé. Gần các hố đen, nếu ta tính đến các hiệu ứng lượng tử, sẽ có ma sát trên các vật chuyển động. Thuyết trường lượng tử chứng tỏ rằng chân không chứa và bao gồm các cặp hạt–phản hạt ảo. Vũ trụ học chứng tỏ rằng chân không có năng lượng khác 0 và Thuyết trường lượng tử cũng đề nghị như vậy. Thuyết tương đối tổng quát chứng tỏ rằng chân không cong có thể di chuyển, và Thuyết hấp dẫn lượng tử cũng vậy. Tóm lại, ta có thể nói rằng chân không có mọi tính chất mà người ta gán cho aether nhưng theo một cách, về cơ bản, khác với những điều mà những người đề xướng đã bàn luận về nó.

Câu đố 133, trang 138: Gần như không có ánh sáng đi qua; cường độ ánh sáng truyền qua phụ thuộc vào tỷ số bước sóng và đường kính của lỗ theo hàm mũ. Ta có thể nói rằng sau lỗ có một sóng phù du.

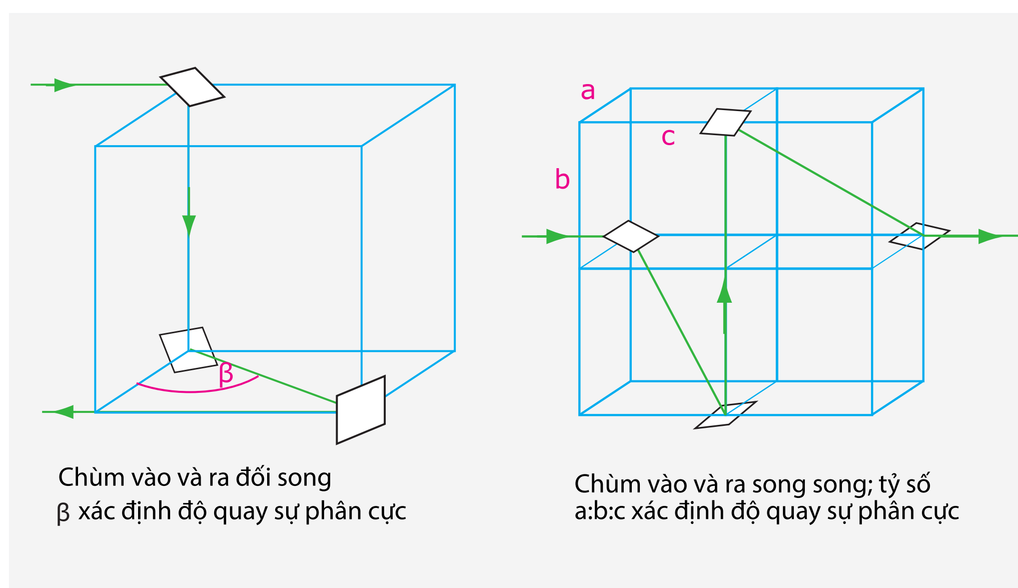
Câu đố 134, trang 138: Mật độ năng lượng là $1\,\mathrm{kW/m^2}/c = 3.3\,\mathrm{\mu J/m^3}$. Giả sử sóng hình sin, (căn quân phương) của điện trường là $\sqrt{3.3\,\mathrm{\mu J/m^3}/\varepsilon_0} = 610\,\mathrm{V/m}$ – một trị số khá lớn. (Căn quân phương) của từ trường là $610\,\mathrm{V/m}/c = 2.1\,\mathrm{\mu T}$ – một trị số khá nhỏ.

Câu đố 135, trang 138: Một thí dụ bất kỳ về ánh sáng đều chỉ có một màu.

Câu đố 137, trang 139: Việc mô tả ánh sáng là một chất có ích cho việc tìm hiểu chùm ánh sáng. Mặt khác, ánh sáng là một chất khá đặc biệt: nó không có tính không đổi thông thường – nó có thể bị hấp thu – và nó không có khối lượng.

Câu đố 138, trang 139: Ánh sáng bị phí phạm quá nhiều, kính chắn gió quá đắt tiền và không có lý do gì để làm như vậy nếu không có ai làm.

Câu đố 140, trang 142: Tối thiểu cần 3 gương. Hai cách xếp đặt gương được trình bày trong Hình 190. Cũng có cách xếp đặt 3 gương với chùm ánh sáng vào và ra song song với nhau; bạn có thể tìm ra cách này không? Ý tưởng của các cách xếp đặt này đã được giải thích rõ ràng trong các bài báo của Enrique Galvez và cộng sự của ông. Xem 98



HÌNH 190 Cách xếp đặt 2 gương làm hướng phân cực của một chùm ánh sáng quay đi một góc cho trước.

Câu đố 141, trang 143: Trong giao thoa kế bên trái, ánh sáng ra theo hướng B, cái còn lại theo hướng A. Ta có thể tổng quát hoá bài toán cho giao thoa kế có hình dạng bất kỳ. Cách giải trong trường hợp này là sử dụng *phase Berry*. Nếu bạn quan tâm hãy tìm hiểu khái niệm thú vị này với sự giúp đỡ của thư viện mà bạn thường lui tới.

Câu đố 142, trang 149: Nhiệt độ trung bình của Trái đất là 287 K. Năng lượng đến từ Mặt trời tỷ lệ với luỹ thừa 4 của nhiệt độ. Năng lượng này trải ra (một cách gần đúng) trên 1/2 bề mặt Trái đất. Lượng năng lượng đó ở Mặt trời, đi từ một bề mặt nhỏ hơn, chắn cùng một góc như Trái đất. Như vậy ta có $E \sim 2\pi R^2_{\text{Earth}} T^4_{\text{Earth}} = T^4_{\text{Sun}} R^2_{\text{Earth}} \alpha^2$, trong đó α là bán kính góc của Mặt trời. Kết quả nhiệt độ của Mặt trời khoảng $T_{\text{Sun}} = (T^4_{\text{Earth}}/\alpha^2)^{0.25} = 4\,\text{kK}$.

Câu đố 145, trang 150: Vì cực đại của quang phổ theo bước sóng và theo tần số không giống nhau, như vậy chúng không thể và *không* tuân theo công thức $c = f\lambda$.

Câu đố 148, trang 150: Ở nhiệt độ cao, mọi vật đều gần giống thể đen. Màu do nhiệt độ quan trọng hơn các hiệu ứng màu khác. Lò và vật có cùng nhiệt độ nên ta không phân biệt được chúng. Tuy nhiên để làm được như vậy ta phải chiếu sáng cảnh vật bằng ánh sáng có công suất lớn và chụp ảnh với độ nhạy thấp. Như vậy ta luôn luôn cần ánh sáng mạnh để chụp ảnh những gì xảy ra trong lửa.

Câu đố 149, trang 151: Việc đạt được nhiệt độ cao hơn sẽ phá vỡ nguyên lý 2 của Nhiệt động lực học. Để tìm hiểu thêm, bạn hãy đọc trong sách giáo khoa về *định luật Kirchhoff*.

Câu đố 150, trang 152: Ta có thể mô tả nhiệt độ hiệu dụng của ánh sáng laser là *lớn hơn vô hạn*; điều này cho phép ta đốt nóng mục tiêu lên nhiệt độ cực cao.

Câu đố 152, trang 157: Đối với gương hay thấu kính nhỏ, như thấu kính dùng trong kính hiển vi thì việc sản xuất hàng loạt các thấu kính thì dễ hơn. Trái lại, việc sản xuất, lắp đặt và sử dụng các gương lớn thì dễ dàng và rẻ hơn thấu kính nhiều vì gương sử dụng ít thuỷ tinh, nhẹ hơn và dễ thay đổi hình dạng nhờ các cơ cấu điều khiển.

Câu đố 153, trang 157: Nước đường cho ta thấy một hiệu ứng còn đẹp mắt hơn trong cách xếp đặt như sau. Lấy một ống dài trong suốt một đầu kín chứa đầy nước đường. Chiếu một chùm

laser helium–neon màu đỏ từ dưới đáy ống lên. Sau đó ta đưa một kính phân cực thẳng vào chùm sáng: ánh sáng trong ống sẽ tạo thành một đường xoắn ốc. Bằng cách quay kính phân cực bạn có thể làm cho đường xoắn ốc tiến hay lùi. Hiệu ứng này được gọi là *tính quang hoạt* của đường, bắt nguồn từ khả năng quay mặt phẳng phân cực của ánh sáng và một tính chất đặc biệt của thực vật: chúng chỉ tạo thành một trong 2 dạng gương của đường.

Câu đố 155, trang 159: Hệ thức của 'định luật' khúc xạ là

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} \,. \tag{118}$$

Tỷ số tốc độ đặc biệt giữa chân không (hay không khí, gần như giống nhau) và vật liệu là *chiết suất n* của vật liệu đó:

$$n = \frac{c_1}{c_0} = \frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_0} \tag{119}$$

Nhiều người gọi không đúng 'định luật' khúc xạ là 'định luật Snell', hay 'định luật Descartes' mặc dù đã có nhiều người khác tìm ra trước (và dù tên của dòng họ là 'Snel').

Câu đố 156, trang 164: Công thức thấu kính mỏng là

$$\frac{1}{d_\mathrm{o}} + \frac{1}{d_\mathrm{i}} = \frac{1}{f} \,. \tag{120}$$

Công thức này đúng khi bề dầy của thấu kính có thể bỏ qua. Độ hội tụ của thấu kính được đo bằng đại lượng $1/f$. Đơn vị $1\ \mathrm{m}^{-1}$ được gọi là *diopter*; nó được sử dụng cho kính đọc sách. Thấu kính hội tụ có độ hội tụ dương, thấu kính phân kỳ có độ hội tụ âm.

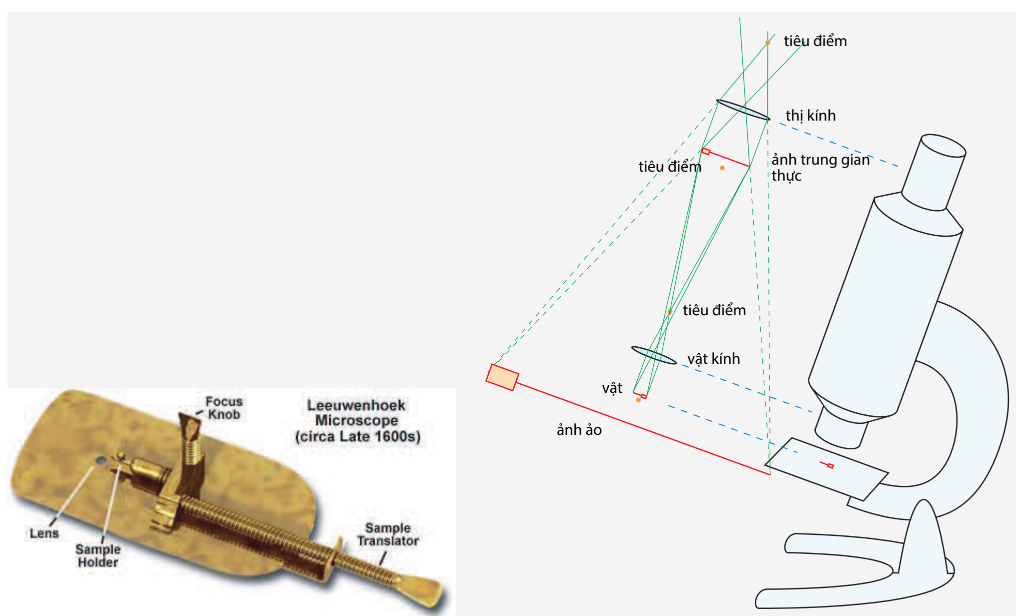
Tuy vậy, công thức này chỉ gần đúng và không bao giờ được sử dụng trong việc thiết kế thấu kính. Nó là tàn dư của sách cũ. Các nhà thiết kế thấu kính hiện đại luôn sử dụng quang học Gauss để tính toán. Hãy xem thí dụ như Francis A.Jenkins & Harvey E. White, *Fundamentals of Optics*, McGraw-Hill, 1957.

Câu đố 158, trang 165: Một kính hiển vi quang học cơ bản được tạo thành từ 2 thấu kính hội tụ. Một thấu kính – hay hệ thấu kính – tạo ra một ảnh thực được phóng đại và thấu kính thứ 2 tạo ra một ảnh ảo được phóng đại của ảnh trước. Hình 191 cũng chứng tỏ rằng kính hiển vi luôn luôn đảo ngược ảnh. Do bước sóng của ánh sáng, kính hiển vi quang học có độ phân giải cực đại khoảng 1 µm. Ta nên nhớ rằng *độ phóng đại* của kính hiển vi là không giới hạn; đại lượng bị giới hạn là *độ phân giải*. Điều này giống như trường hợp ảnh số. *Độ phân giải* là kích thước của điểm ảnh nhỏ nhất mà ta nhận ra được.

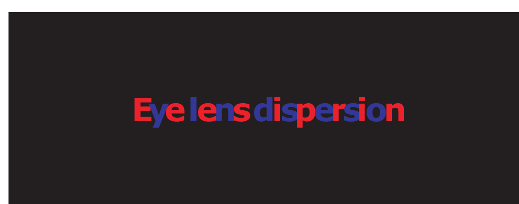
Kính hiển vi hình như do Girolamo Fracastro phát minh vào năm 1538. Kính hiển vi đầu tiên có thể hoạt động được chế tạo ở Hoà Lan vào khoảng năm 1590. Sự phát triển của kính hiển vi rất chậm chạp vì việc sản xuất thuỷ tinh vào thời đó cực kỳ khó, đặc biệt là các thấu kính nhỏ. Do đó, vào năm 1819 David Brewster đã đề nghị chế tạo một kính hiển vi sử dụng thuỷ tinh thể của mắt cá; khi ý tưởng này được hiện thực hoá bằng thuỷ tinh thể mắt lươn, nó đã tạo ra một kính hiển vi có hiệu suất đáng kinh ngạc. Để biết thêm về kính hiển vi hãy đọc quyển sách rất hay của Elizabeth M. Slater & Henry S. Slater, *Light and Electron Microscopy*, Cambridge University Press, 1993, hay thám hiểm các website chuyên đề như www.mikroskopie-muenchen.de hay micro.magnet.fsu.edu/primer/techniques.

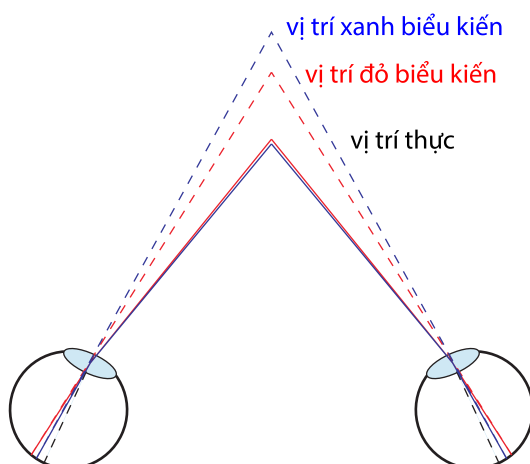
.

Câu đố 160, trang 167: Sự tán sắc ở thuỷ tinh thể dẫn tới các vị trí ảnh biểu kiến khác nhau như ta thấy trong Hình 192. Để biết thêm về sự tán sắc trong mắt người và các phương thức sử dụng nó để tạo ra các hiệu ứng 3 chiều, hãy xem các bài báo của C. Ucke & R. Wolf, *Durch Farbe in die dritte Dimension*, Physik in unserer Zeit **30**, pp. 50–53, 1999.



HÌNH 191 Một thấu kính đã tạo ra kính hiển vi thương mại cổ nhất từ năm 1680 (chiều dài khoảng 8cm, được giữ gần với mắt) nhưng 2 thấu kính hội tụ tạo ra kính hiển vi hiện đại (photo WikiCommons).





HÌNH 192 Mối liên hệ giữa hiệu ứng độ sâu của màu sắc và sự tán sắc của thuỷ tinh thể của mắt người

Câu đố 161, trang 170: Chùm 1 mm sẽ mở rộng 1000 lần bằng bề rộng của chùm 1 m. Một chùm ánh sáng lục hoàn hảo rộng 1 m sẽ có bề rộng 209 m trên Mặt trăng; bạn có thể suy ra kết quả này từ một công thức (quan trọng) liên quan tới khoảng cách, bước sóng, đường kính ban đầu và cuối cùng không? Thử đoán công thức đẹp đẽ này rồi suy ra nó. Trong thực tế, giá trị lớn hơn cực tiểu lý thuyết đã tính. Hãy ghé trang www.csr.utexas.edu/mlrs và ilrs.gsfc.nasa.gov.

Câu đố 162, trang 170: Người ta thường nói rằng sự tiến hoá đã điều chỉnh số tế bào hình nón trong mắt theo độ phân giải cực đại lý thuyết khi con ngươi mở cùng với quang sai của nó; tuy vậy các chuyên gia về chủ đề này vẫn cho rằng còn một số lớn tế bào hình nón dự trữ.

Câu đố 163, trang 170: Đáp số sẽ nằm trong khoảng 10 hay 20 km trong tình trạng khí quyển lý tưởng.

Câu đố 166, trang 179: Đúng ra, không có cách để cho toàn đồ của một người có thể đi loanh quanh và đe doạ người thực. Một toàn đồ luôn luôn trong suốt; ta luôn nhìn thấy phông nền xuyên qua toàn đồ. Một toàn đồ luôn luôn cho một ấn tượng tương tự như những hình ảnh chuyển động giống như các bóng ma. Nếu nền đen, hãy chiếu sáng bằng một đèn pin để thấy rõ điều này.

Câu đố 167, trang 180: Bước sóng nhỏ của ánh sáng có thể ngăn cản giấc mơ này. Vì một màn hình toàn ký thực thì các điểm ảnh phải nhỏ hơn bước sóng ánh sáng và phải tái tạo được thông tin về phase. Như vậy câu hỏi kế tiếp sẽ là: cần bao nhiêu để giấc mơ này thành hiện thực? Nếu bạn tìm ra giải pháp bạn sẽ trở nên giàu có và nổi tiếng.

Câu đố 170, trang 187: Có một *điểm mù* trong mắt; đó là một vùng không thể cảm nhận được hình ảnh. Não cho rằng hình ảnh ở đó giống như hình ảnh ở đường biên. Nếu một điểm rơi vào trong vùng đó, nó sẽ biến mất.

Câu đố 171, trang 187: Cơ chế bổ chính cho các thụ thể xanh trong hố trung tâm không thể hoạt động quá nhanh: bạn sẽ thấy một điểm bắt nguồn từ hố trung tâm này.

Câu đố 173, trang 189: Mắt và não không đảo hướng trên dưới ở một tuổi nào đó. Ngoài ra, điều gì chứng tỏ trẻ sơ sinh thấy ngược lại?

Câu đố 174, trang 199: Mắt và hệ thị giác loại trừ các hình không thay đổi theo thời gian.

Câu đố 175, trang 200: Không đúng hẳn; Mắt mèo sử dụng 2 lần phản xạ ở các mặt bên của hình lập phương; mắt mèo sống có nhiều lần phản xạ. Dù vậy tác dụng sau cùng thì như nhau: ánh sáng trở lại hướng xuất phát.

Câu đố 178, trang 206: Ứng dụng hiện tượng nhiễu xạ; quan sát các hình nhiễu xạ trên tường phía sau sợi tóc chừng vài mét.

Câu đố 180, trang 207: Ở khoảng cách 10 pc=32.6 al, Mặt trời có cấp sáng biểu kiến là 4.7. Ở khoảng cách 20 pc=65.2 al, cấp sáng giảm đi 4 lần, còn khoảng 1.5, do đó cấp sáng nhìn thấy biểu kiến khoảng 6.2. Số này gần với giới hạn cấp sáng của mắt. Cấp sáng giới hạn thực của mắt không phải là hằng số cũng không có tính phổ quát nên khoảng cách 50 năm ánh sáng không phải là giới hạn chính xác. Cấp sáng giới hạn – giống như thị giác ban đêm hay *độ nhạy dạ thị* – phụ thuộc áp suất riêng phần của oxygen trong không khí mà quan sát viên đang thở, vào độ trong sạch của không khí, vào khoảng cách của thiên đỉnh và chủ yếu là độ thích ứng với bóng đêm. Mắt ở lâu trong ánh sáng của trời đêm tại một vị trí rất tối không có ánh sáng vẫn không thể thích ứng hoàn toàn với bóng đêm. Bạn có thể dễ dàng nhìn thấy sao cấp 7 bằng cách che bớt bầu trời và chỉ nhìn một phần nhỏ của nó. Một số quan sát viên trong điều kiện lý tưởng đã tuyên bố là có thể nhìn thấy sao cấp 8.

Câu đố 181, trang 207: Mặt màu lục nhìn ở một góc xiên thường thấy rộng hơn khi nhìn theo phương thẳng đứng. Mặt đất có phủ cỏ xanh được nhìn từ một góc xiên.

Câu đố 182, trang 208: Đúng. Các kính thiên văn hiện đại có bề mặt thu thập ánh sáng lớn (lên tới 50 m^2) và có các máy phát hiện cực nhạy. Số photon do que diêm cháy sáng phát ra trên Mặt

trăng theo hướng của kính thiên văn lớn (cỡ nào?) đủ để kích khởi máy phát hiện.

Câu đố 183, trang 209: Dĩ nhiên là không vì vận tốc nhóm không bị Thuyết tương đối đặc biệt giới hạn. Vận tốc năng lượng bị giới hạn nhưng không bị thay đổi trong thí nghiệm này.

Câu đố 184, trang 209: Ông mua quần áo cho mẹ và cho mình không đúng màu.

Câu đố 186, trang 210: Nhà thám hiểm người Phổ Alexander von Humboldt đã kiểm tra kỹ huyền thoại này trong thế kỷ 19. Ông thăm nhiều hầm mỏ và hỏi rất nhiều công nhân ở Mexico, Peru, Siberia về kinh nghiệm của họ. Ông cũng hỏi nhiều người thông ống khói. Không ai kể cả ông thấy sao vào lúc ban ngày.

Câu đố 187, trang 210: Nhìn Mặt trời khi nhắm mắt và nhớ cái bóng màu đỏ mà bạn thấy. Đi vào phòng đóng cửa, mở đèn tròn và nhìn đèn với mắt nhắm. Chọn khoảng cách đến đèn cho cùng một bóng đỏ. Suy ra công suất Mặt trời từ công suất đèn và định luật nghịch đảo của bình phương.

Câu đố 188, trang 210: Nếu bạn mở một cuộn băng keo, ngoài ánh sáng, còn có tia X phát ra. Đây là thí dụ về Sự phát quang do ma sát. Hãy xem thí dụ trong film tại www.youtube.com/watch?v=J3i8oRi0WNc.

Câu đố 196, trang 220: Cơ thể người dẫn điện và làm thay đổi hình dạng của điện trường và do đó nối tắt dòng điện này. Thông thường ta không thể tạo ra năng lượng từ điện trường này vì dòng điện quá nhỏ. (Tia sét dĩ nhiên lại là câu chuyện khác. Chúng bắt nguồn – một cách gián tiếp – từ trường của Trái đất nhưng không có quy luật nên không thể sử dụng thường xuyên. Cột thu lôi của Franklin là một thí dụ như vậy.) Điện trường trong thời tiết tốt không thể sử dụng làm nguồn năng lượng vì điện trở trong của nó là 3 GΩ/m.

Câu đố 197, trang 220: Trường ở mặt cầu bán kính r là $E = Q/4\pi\varepsilon_0 r^2$. Thay $E = 200\,\mathrm{V/m}$, ta được $Q = 0.9\,\mathrm{MC}$.

Câu đố 198, trang 223: Nếu bạn tìm được phương pháp khác từ sự ước tính đã biết, bạn hãy công bố nó.

Câu đố 202, trang 230: Mọi ảo thị về việc bay bổng nhìn có vẻ như ảo thuật gia đang treo vật trên các sợi dây như nhiều người đã thấy, kể cả tôi. (Đèn flash máy ảnh thì bị cấm, phông nền thì mờ ảo để gây khó khăn cho việc trông thấy các sợi dây, không có chiếc vòng nào được kéo trên ảo thuật gia, bể nước mà anh ta nằm trong thì để mở cho dây câu đi qua, các bạn diễn luôn luôn giống nhau được chọn 'ngẫu nhiên' từ khán giả, v.v...) Thông tin của các nhân chứng đã thực sự thấy các dây câu của David Copperfield đã giải thích cho việc sắp xếp này. Các nhóm thông tin usenet alt.magic.secrets, đặc biệt Tilman Hausherr, đóng vai trò quan trọng trong việc xoá sạch chủ đề này, kể cả tên của công ty chế ra các cơ cấu treo.

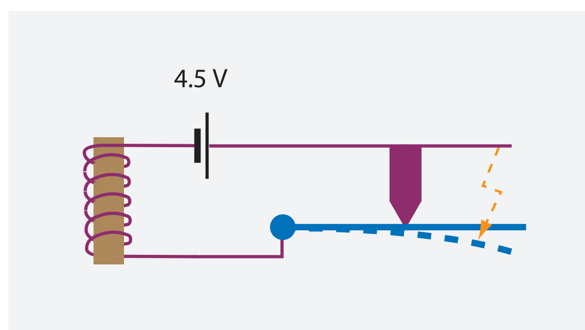
Câu đố 203, trang 230: Nếu có bạn nên công bố nó.

Câu đố 204, trang 234: Có thể là năng lượng của âm khi nó là công cơ học.

Câu đố 205, trang 236: Sự biến dạng không-thời gian không có liên hệ gì với điện; ít nhất là ở mức năng lượng thông thường. Khi gần năng lượng Planck, điều này có thể thay đổi nhưng người ta vẫn chưa tiên đoán được điều gì.

Câu đố 207, trang 238: Độ hấp thu lý tưởng tạo ra màu đen (mặc dù nó có thể đỏ hay trắng ở nhiệt độ cao hơn).

Câu đố 208, trang 238: Mặt trời phát xạ khoảng $4 \cdot 10^{26}$ W từ khối lượng $2 \cdot 10^{30}$ kg của nó, tức 0.2 mW/kg. Thân người trưởng thành (đứng yên) phát xạ khoảng 100 W (bạn có thể kiểm tra điều này lúc đi ngủ vào ban đêm), như vậy khoảng 1.2 W/kg. Tức là lớn hơn Mặt trời khoảng 6000 lần. Lý do: chỉ có trung tâm Mặt trời phát ra năng lượng. Nếu năng lượng đó đem chia cho khối lượng toàn phần, bao gồm phần không phát ra năng lượng, ta kiếm được trị trung bình nhỏ hơn. Cũng cần nói thêm, mọi ngọn nến, hay tốt hơn, một bút laser bất kỳ phát xạ nhiều năng lượng tính trên mỗi đơn vị khối lượng hơn Mặt trời vì lý do tương tự.



HÌNH 193 Cách gây ra điện giật bằng một pin 4.5 V.

Câu đố 209, trang 239: Điện tích trên hộp kim loại được phân bố sao cho điện trường bên trong bằng 0. Điều này làm cho xe hơi và phi cơ trở nên an toàn đối với sét. Dĩ nhiên là nếu trường bên ngoài thay đổi quá nhanh khiến cho sự phân bố không theo kịp thì trường *có thể* lọt vào trong lồng Faraday. (Cũng cần nói thêm là trường có bước sóng dài có thể xuyên qua kim loại; các bộ điều khiển từ xa đặc biệt dùng để mở các cửa an toàn thường sử dụng tần số 25 kHz để đạt được yêu cầu này). Tuy vậy, ta cũng nên chờ một chút trước khi ra khỏi xe sau khi sét đánh vì xe nằm trên bánh cao su có độ dẫn điện thấp; việc chờ đợi sẽ cho điện tích có thời gian chạy xuống đất.

Đối với lực hấp dẫn và các lồng bằng chất rắn, sự phân bố khối lượng không thể tạo ra khiên hấp dẫn.

Câu đố 210, trang 239: Kim loại mu là một hợp kim nickel-sắt, thường chứa các vết kim loại khác, có độ từ thẩm μ_r lớn, trong khoảng từ 50 000 tới 140 000; nó rất dẻo. Độ từ thẩm cao làm cho từ trường tập trung vào trong hợp kim, đi bên trong nó và vòng quanh thể tích được bao bọc, và tạo ra được sự che chắn như ta mong muốn.

Câu đố 213, trang 241: Để tài này khá nhạy cảm. Không rõ là trường 50 Hz có nguy hiểm cho người hay không. Có một khả năng cao là không; nhưng vấn đề này vẫn chưa được giải quyết.

Câu đố 214, trang 242: Số photon X lượng tử tác dụng $\hbar$.

Câu đố 215, trang 242: Trước tiên, Faraday có thể đã tìm thấy một mối liên kết bề ngoài bằng cách sử dụng các thí nghiệm đã đề cập. Nhưng ông lại đang tìm kiếm một mối liên kết sâu xa hơn. Tuy vậy, lực hấp dẫn và điện không có liên hệ gì với nhau, vì một bắt nguồn từ khối lượng, một bắt nguồn từ điện tích. Sau Faraday khá lâu, người ta khám phá ra rằng lực hấp dẫn cũng thuộc về các hiện tượng hấp dẫn từ, tức là các hiệu ứng đo được bắt nguồn từ các khối lượng chuyển động – nhưng vẫn không có liên hệ với hiện tượng điện từ. Mối quan hệ xa giữa lực hấp dẫn và điện sẽ chỉ xuất hiện trong phần cuối của cuộc hành trình này.

Trang 31
Quyển II, trang 174

Câu đố 216, trang 242: Quá trình tích điện ngừng lại vì vệ tinh mang điện âm đẩy các electron và chấm dứt hoạt động thu nhận electron. Electron được thu nhận nhiều hơn ion dương vì chúng dễ va chạm không đàn hồi với vệ tinh hơn ion, do chúng có tốc độ cao ở nhiệt độ đã cho.

Câu đố 217, trang 242: Có nhiều lý do giải thích cho sự mất mát năng lượng, như điện trở hay bức xạ điện từ. Sau một thời gian ngắn, năng lượng sẽ thất thoát. Vấn để nhỏ này đã được bàn luận nhiều trên internet.

Câu đố 218, trang 242: Sử dụng dây điện như trình bày trong Hình 193. *Nếu* dao động có tần số thích hợp, *nếu* chỗ tiếp xúc được tách ra đúng ngay đầu nhọn, và *nếu* bạn kẹp chặt vào 2 điểm tiếp xúc, bạn sẽ bị giật một cú mạnh hơn sức chịu đựng.

Câu đố 220, trang 244: Điều này có thể làm được trong tương lai gần; nhưng cả hai thí nghiệm, đo từ trường của não và kiểm tra chính xác tính chân thật của nó sẽ không đơn giản.

Câu đố 221, trang 244: Không, hệ thống không an toàn. Trong một hệ thống bất kỳ, điểm yếu

nhất thường cung cấp sự an toàn. Và trong một hệ thống mật khẩu, điểm yếu nhất là việc truyền các dữ liệu thô – trong trường hợp này là các tín hiệu từ nón tới máy tính – và hệ thống kiểm tra mật khẩu. Cả hai đều dễ bị tổn thương như các hệ thống mật khẩu khác. (Nếu bạn muốn học về bảo mật, hãy đọc các bài viết của Bruce Schneier, có sẵn trên internet.)

Câu đố 222, trang 246: Điện trường cực đại và từ trường cực đại là các trị áp dụng lực cực đại $c^4/4G$ cho điện tích nguyên tố e. Bảng 3 cho giá trị cực đại của điện trường và Bảng 8 cho giá trị cực đại của từ trường.

Quyển II, trang 109

Câu đố 223, trang 248: Xem câu 29.

Câu đố 225, trang 249: Ta có thể đo nhiều điện tích rồi chứng tỏ rằng chúng luôn là bội số của cùng 1 đơn vị. Phương pháp này đã được Millikan sử dụng trong thí nghiệm nổi tiếng của mình. Ta cũng có thể đo sự thăng giáng của cường độ dòng điện và chứng tỏ rằng chúng sinh ra từ tiếng ồn do phát xạ tức là từ các dòng điện tích rời rạc có cùng giá trị.

Câu đố 227, trang 249: Điện tích điểm sẽ dẫn tới năng lượng vô hạn. Điều này không thể xảy ra. Lập luận này có thể áp dụng cho thiên nhiên hay không vẫn được tranh luận sôi nổi. Ý kiến của đa số là Thuyết lượng tử cho phép có điện tích điểm vì hạt lượng tử không bao giờ đứng yên nên không thể có mật độ năng lượng lớn vô hạn.

Câu đố 229, trang 250: Điện thế Trái đất sẽ là $U = -q/(4\pi\varepsilon_o R) = 60\,\text{MV}$, trong đó có tính đến số electron trong giọt nước.

Câu đố 230, trang 250: Luôn luôn có sai số khi đo giá trị của trường, ngay cả khi đo một trường = 0. Ngoài ra, Thuyết lượng tử cho ta khả năng có một giá trị mật độ nhỏ tuỳ ý thông qua mật độ xác suất của các hàm sóng.

Câu đố 234, trang 254: Vấn đề là: 'vũ trụ' có phải là một khái niệm không? Trong phần cuối cuộc phiêu lưu ta sẽ chứng minh rằng nó không phải.

Quyển VI, trang 111

Câu đố 236, trang 263: Khi suy nghĩ, năng lượng, động lượng, moment động lượng được bảo toàn và entropy nhiệt động lực không triệt tiêu. Thí nghiệm nào cho thấy có điều khác lạ sẽ chỉ ra các quá trình ta không rõ. Tuy vậy không có bằng chứng cho các quá trình như vậy.

Câu đố 237, trang 263: Phương pháp tốt nhất không thể ngắn hơn những gì cần để mô tả 1 trong 6 tỉ, hay 33 bit. Hệ thống mã bưu điện của Hoà Lan và Anh (bao gồm chữ NL hay UK) không khác lắm với trị số này nên ta có thể cho hệ thống này là hữu hiệu.

Câu đố 238, trang 264: Đối với các hệ phức tạp, có nhiều ẩn số, sự tiến bộ chỉ đơn giản là sự gia tăng câu trả lời. Đối với cả vũ trụ, số vấn đề mở khá ít, như sau này ta sẽ thấy; không có nhiều tiến bộ trong các năm qua. Nhưng sự tiến bộ trong trường hợp này cũng có thể đo được một cách rõ ràng.

Quyển V, trang 316

Câu đố 239, trang 264: Ta có thể sử dụng thuật ngữ 'đầy đủ' khi mô tả thiên nhiên hay không? Có thể. Đúng ra con người đã đến gần với sự mô tả đầy đủ về chuyển động. Để có một tổng quan rõ ràng, hãy tham khảo Quyển cuối cùng trong cuộc phiêu lưu của chúng ta.

Quyển VI, trang 20

Câu đố 241, trang 266: Có nhiều nguồn nhiệt động lực nối tiếp nhau: nguồn nhiệt trong mỗi tế bào nhạy sáng của mắt, nguồn nhiệt trong dây thần kinh hướng tâm và nguồn nhiệt trong tế bào não.

Câu đố 243, trang 267: Đúng.

Câu đố 245, trang 273: Các chip dựa trên trit phải được thiết kế lại vì việc này. Đây là một sự phung phí tài nguyên và công sức bỏ ra trước kia.

Câu đố 249, trang 280: Việc rút gọn danh sách căn tố ngữ nghĩa không khó; bạn sẽ tìm ra cách làm một cách dễ dàng, kể cả các khái niệm toán học lẫn vật lý học. Nhưng danh sách này đã thực sự *đầy đủ chưa?* Đối với toán học thì đủ. Nhưng các nhà vật lý có thể cho rằng các tính chất của vật thể, không-thời gian và các tương tác tạo thành danh sách khả hữu ngắn nhất. Tuy vậy, danh

sách các tính chất này dài hơn danh sách của các nhà ngôn ngữ học! Lý do là các nhà vật lý đã tìm ra 'các căn tố vật lý' không có trong đời sống thông thường. Một lý do nữa là các nhà vật lý chưa hoàn thành việc thống nhất lý thuyết. Theo một nghĩa nào đó, mục tiêu của các nhà vật lý hiện nay bị giới hạn bởi danh sách các vấn đề của thiên nhiên mà ta chưa giải thích được. Danh sách đó sẽ được cho sau này; nó tạo nên điểm khởi đầu của phần cuối cùng của cuộc thám hiểm này.

Quyển V, trang 316

Cũng cần nói thêm, người ta có thể cho rằng danh sách căn tố thực ra đã đầy đủ, vì nó cho phép ta nói về mọi vật. Điều này hàm ý rằng một người bình thường, không biết đến nó, đã có *lý thuyết về mọi vật*. Do đó các vật lý gia chỉ cần bàn luận với một người bình thường...

Câu đố 250, trang 283: Không có khái niệm nào có nội dung đã được định nghĩa, các giới hạn và lĩnh vực áp dụng rõ ràng.

Câu đố 251, trang 283: Không thể! Đó sẽ không phải là một khái niệm vì nó không có nội dung. Giải pháp cho vấn đề này phải và sẽ khác. Phần cuối cùng của cuộc du hành ta sẽ đề nghị một giải pháp.

Quyển VI, trang 148

Câu đố 252, trang 285: Không thuộc loại nào cả. Nghịch lý này chứng tỏ rằng không có 'tập hợp của mọi tập hợp'.

Câu đố 253, trang 286: Nổi tiếng nhất là lớp các tập hợp không chứa chính nó. Đây không phải là một tập hợp mà là một lớp.

Câu đố 254, trang 286: Chia bánh là một bài toán khó. Một phương pháp đơn giản có thể giải được nhiều – nhưng không phải là tất cả – các bài toán giữa N người P1 ... PN là như sau:

— P1 cắt bánh thành N miếng.
— P2 tới PN chọn 1 miếng cho mình.
— P1 giữ lại phần sau cùng.
— P2 ... PN gom các phần còn lại thành một.
— P2 ... PN lặp lại giải thuật với số người bớt đi 1.

Bài toán này phức tạp hơn nếu ta không được phép gom phần còn lại thành một. Một phương pháp *công bằng* (trong một số bước hữu hạn) cho 3 người cần 9 bước, được Steinhaus đưa ra năm 1944, và một phương pháp *làm hài lòng mọi người* là của John Conway trong thập niên 1960. Một phương pháp làm hài lòng 4 người chỉ được tìm ra vào năm 1995; nó có 20 bước.

Câu đố 255, trang 287: $(x, y) := \{x, \{x, y\}\}$.

Câu đố 256, trang 288: Gợi ý: hãy chứng tỏ rằng một danh sách đếm được bất kỳ của các số thực đều thiếu ít nhất một số. Điều này được Cantor chứng minh lần đầu tiên. Cách của ông là viết danh sách dưới dạng khai triển thập phân và tìm một số không nằm trong danh sách này. Gợi ý thứ nhì: thủ thuật nổi tiếng thế giới của ông được gọi là *phép chứng minh đường chéo*.

Câu đố 257, trang 288: Gợi ý: mọi số thực đều là giới hạn của một chuỗi các số hữu tỷ.

Câu đố 259, trang 289: Có nhưng ta không được chia cho zero và các số phải là số hữu tỷ và số thực.

Câu đố 260, trang 290: Có vô hạn các *số ký sinh* như vậy. Số nhỏ nhất đã khá lớn: 1016949152542372881355932203389830508474576271186440677966. Nếu đổi số 6 trong bài toán ta sẽ thấy rằng lời giải nhỏ nhất của 1 là 1, của 4 là 102564, của 5 là 142857, của 8 là 1012658227848, của 2 là 105263157894736842, của 7 là 1014492753623188405797, của 3 là 1034482758620689655172413793, và của 9 là 10112359550561797752808988764044943820224719. Lời giải nhỏ nhất của 6 lớn nhất trong danh sách này.

Câu đố 261, trang 290: Một cách đã được cho ở trên: $0 := \varnothing$, $1 := \{\varnothing\}$, $2 := \{\{\varnothing\}\}$ v.v...

Câu đố 262, trang 294: Phép trừ thì dễ. Phép cộng không giao hoán chỉ trong các trường hợp khi có liên quan tới các số vô hạn: $\omega + 2 \neq 2 + \omega$.

Câu đố 263, trang 294: Các thí dụ là $1 - \varepsilon$ hay $1 - 4\varepsilon^2 - 3\varepsilon^3$.

Câu đố 264, trang 294: Câu trả lời là 57; chỉ dẫn tham khảo nằm cạnh phần trích dẫn sẽ cho thêm chi tiết.

Câu đố 265, trang 296: $2^{2^{22}}$ và $4^{4^{4^4}}$.

Câu đố 268, trang 296: Tuổi của đứa bé là -0.75 năm hay -9 tháng; như vậy người cha đang ở rất gần với người mẹ của đứa bé.

Câu đố 269, trang 296: Đây không phải là một câu hỏi dễ trả lời. Những số đầu tiên không tầm thường là 7, 23, 47, 59, 167 và 179. Hãy xem Robert Matthews, *Maximally periodic reciprocals*, Bulletin of the Institute of Mathematics and its Applications **28**, pp. 147–148, 1992. Matthews đã chứng minh rằng một số n mà có $1/n$ tạo ra $n-1$ chữ số thập phân trong khai triển thập phân là một số nguyên tố đặc biệt có thể suy ra từ *số nguyên tố Sophie Germain* S; ta phải có $n = 2S + 1$, trong đó cả S lẫn $2S + 1$ phải là số nguyên tố và S mod 20 phải là 3, 9, hay 11.

Như vậy các số đầu tiên n là 7, 23, 47, 59, 167 và 179, tương ứng với S bằng 3, 11, 23, 29, 83 và 89. Năm 1992, số S lớn nhất thoả tiêu chuẩn này là

$$S = (39051 \cdot 2^{6002}) - 1 \,, \tag{121}$$

một số nguyên tố Germain dài 1812 chữ số, đó là 3 mod 20. Nó do Wilfred Keller khám phá. Số nguyên tố Sophie Germain dẫn tới số nguyên tố n với một khai triển thập phân dài khoảng 10^{1812} chữ số trước khi bắt đầu lặp lại. Hãy đọc quyển sách về Lý thuyết số mà bạn yêu thích để tìm thấy nhiều điều thú vị hơn. Một điều thú vị nữa là lời giải của bài toán này có liên hệ với bài toán 260. Bạn có tìm ra điều gì nữa không?

Câu đố 270, trang 296: Klein không thuộc về nhóm nào cả. Kết quả là một số học trò thô bỉ của ông kết luận rằng ông không phải là một nhà toán học.

Câu đố 271, trang 296: Người thợ hớt tóc không thuộc về nhóm nào cả; định nghĩa về thợ hớt tóc gây ra mâu thuẫn và phải bị loại bỏ.

Câu đố 272, trang 296: Hãy ghé thăm members.shaw.ca/hdhcubes/cube_basics.htm để có thêm thông tin về ma lập phương.

Câu đố 273, trang 297: Hãy thử tìm các hình lục giác kỳ ảo khác rồi chứng minh tính duy nhất của hình đã biết.

Câu đố 275, trang 297: Những biểu thức như vậy được suy ra từ các kết quả trung gian $(1-2^2)^{-1}$. Việc xử lý các chuỗi phân kỳ hình như vô nghĩa nhưng các toán gia biết cách gán cho các biểu thức một nội dung xác định. (Xem Godfrey H. Hardy, *Divergent Series*, Oxford University Press, 1949.) Trong Thuyết lượng tử các vật lý gia thường sử dụng các biểu thức tương tự mà không suy nghĩ nhiều về chúng.

Câu đố 276, trang 298: Kết quả này có liên quan tới hàm zeta của Riemann. Bước đầu có thể xem en.wikipedia.org/wiki/Prime_number.

Câu đố 278, trang 309: 'Mọi người Crete đều nói dối' là *sai*, vì phủ định của nó, 'có một số người Crete nói thật' là đúng trong trường hợp đã cho. Cái bẫy ở đây là câu phủ định của phát biểu gốc thường được phát biểu *một cách sai lầm* là 'mọi người Crete đều nói thật'.

Câu đố 279, trang 309: Phát biểu này không sai, do nửa đầu và kết cấu 'or'. Vì nó đúng nên nửa sau là đúng và như vậy bạn là một thiên thần.

Câu đố 280, trang 309: Thuật ngữ 'lòng vòng' và 'tự tham chiếu' mô tả 2 khái niệm khác nhau.

Câu đố 282, trang 310: Sinh vật ngoài Trái đất không thể tạo ra các vòng tròn thu hoạch, vì giống như ông già Noel hay ma, chúng không có trên Trái đất.

Câu đố 284, trang 311: Ta có thể tranh luận về điều này; dù sao đi nữa 2 phát biểu này rõ ràng là 2 điều nói xạo và ta sẽ chứng minh sau..

Quyển V, trang 91

Câu đố 285, trang 311: Nếu phát biểu này đúng, người bơi hay thợ lặn đều chết vì không thở được.

Câu đố 286, trang 311: Việc cho rằng Trái đất được tạo ra cách nay 100 năm và môi trường của chúng ta, trí nhớ của chúng ta được tạo ra trong não bộ để làm cho chúng ta tin rằng Trái đất già hơn đều đúng như nhau. Ta khó bác bỏ những điều vô nghĩa như vậy nhưng vẫn có thể làm được. Hãy xem câu đố kế tiếp.

Câu đố 287, trang 311: Nếu nghĩ cho kỹ thì thật khó để bác bỏ những điều vô nghĩa như vậy. Nguyên do của các ngày tháng đặc biệt (hay ngày tháng bất kỳ nào khác) đều không rõ ràng. Thuật ngữ 'sáng tạo' không có một ý nghĩa hiển nhiên nào.

Câu đố 289, trang 311: Không. Nhiều thí nghiệm đã chứng tỏ rằng, liệu pháp vi lượng đồng căn là tập hợp *nhiều* điều dối trá. Thí dụ như internet có nhiều đoạn film về những người nuốt một lúc – không có nguy hại gì – hàng trăm viên thuốc vi lượng đồng căn có ghi nhãn 'cực kỳ nguy hiểm khi dùng quá liều'. Ngoài ra, nhiều điều lừa đảo về 'vi lượng' chỉ do 1 người tạo ra. Như thường lệ trò lừa thành công nhất là trò lừa cho phép kiếm được nhiều tiền trên một nhóm người được lựa chọn.

Câu đố 291, trang 312: Câu chuyện đèn tròn hình như có thật. Đèn này rất yếu nên tim đèn không bị bốc hơi.

Câu đố 292, trang 312: Nguyên cớ của việc này có thể là do số người có mặt trong bữa ăn cuối cùng trong kinh thánh Tân ước; hay dấu hiệu thứ 13 trong cung Hoàng đạo bị bỏ quên. Không có gì thật trong điều mê tín này. Đúng ra *mọi điều mê tín đều là điều dối trá.* Tuy vậy, hãy coi chừng những người ghen tỵ với những người không tin và những người có phản ứng hung bạo.

Câu đố 293, trang 312: Cho đến nay mọi người giả vờ bị thương đều có các vết thương trong *lòng* bàn tay. Tuy vậy, trong hình phạt đóng đinh, đinh được xuyên qua *cổ tay*, vì nếu xuyên qua bàn tay chúng không đủ sức giữ cả thân người: bàn tay sẽ bị rách.

Câu đố 294, trang 313: Thuật ngữ 'nhiều phiên bản' vừa mê tín vừa ba xạo. Điều chủ yếu là nó vô nghĩa. Nó giống như các nỗ lực tạo ra số nhiều của từ 'mọi vật'.

Quyển II, trang 263

Câu đố 296, trang 313: Trong hệ quy chiếu nào? Như thế nào? Hãy thận trọng với những kẻ như vậy: hắn là một tên lừa đảo.

Câu đố 301, trang 320: Chỉ có phép quy nạp cho phép ta sử dụng sự tương tự và định nghĩa các khái niệm.

Câu đố 302, trang 322: Điều này tuỳ thuộc vào định nghĩa (của khái niệm) thượng đế. Thuyết phiếm thần không có vấn đề.

Câu đố 303, trang 322: Có, vì ta sẽ tìm ra.

Quyển VI, trang 106

Câu đố 304, trang 323: Có, vì quan sát bao hàm sự tương tác.

Câu đố 305, trang 323: Việc không có mâu thuẫn nội tại có nghĩa là khái niệm đó đúng là một công cụ tư duy; khi chúng ta sử dụng tư tưởng để mô tả thiên nhiên, sự hiện hữu toán học là phiên bản đặc biệt của sự hiện hữu vật lý, vì bản thân tư duy là một quá trình tự nhiên. Thật vậy, các khái niệm toán học cũng hữu ích trong việc mô tả hoạt động của máy tính và các máy tương tự.

Có một cách khác để nói về vấn đề này là nhấn mạnh rằng tất cả các khái niệm toán học đều được xây dựng từ tập hợp và quan hệ, hay là sự tổng quát hoá chúng một cách thích hợp. Những viên gạch xây dựng cơ bản này được lấy từ môi trường vật lý của chúng ta. Đôi khi ý tưởng này được diễn đạt khác đi; nhiều toán gia đã biết rằng các khái niệm toán học như số nguyên tự nhiên, được lấy trực tiếp từ kinh nghiệm.

Câu đố 306, trang 323: Các thí dụ là Achilles, Odysseus, Mickey Mouse, các vị thần của chủ nghĩa đa thần và các linh hồn.

Câu đố 307, trang 325: Torricelli đã tạo ra chân không trong một ống thuỷ tinh hình chữ U bằng cách sử dụng thuỷ ngân là kim loại lỏng được sử dụng trong nhiệt kế. Bạn có thể hình dung ra cách làm không? Một câu hỏi khó hơn: ông lấy thuỷ ngân từ đâu?

Câu đố 308, trang 326: Việc phát biểu rằng một vật gì đó vô hạn, không phải là niềm tin, nếu phát biểu đó có thể chứng minh là sai. Thí dụ như mệnh đề 'Có vô số muỗi.' Mệnh đề như vậy đúng là sai. Những mệnh đề không thể chứng minh là sai, như 'Vũ trụ còn tiếp tục bên ngoài chân trời.' Mệnh đề như vậy là một niềm tin. Cả 2 trường hợp của mệnh đề về sự vô hạn đều không phải là sự thật.

Câu đố 309, trang 328: Cả hai đều không phải là tập hợp và như vậy không có tập hợp các điểm.

Câu đố 310, trang 329: Vẫn không có khả năng tương tác với mọi vật chất và năng lượng vì điều này bao gồm cả chính nó.

Câu đố 311, trang 335: Không. Chỉ có một sự tổng quát hoá bao gồm cả hai.

Câu đố 312, trang 336: Không thể giải thích về vũ trụ vì sự giải thích đòi hỏi khả năng nói về hệ thống bên ngoài hệ thống ta đang xem xét. Vũ trụ không phải là một phần của một tập hợp lớn hơn.

Câu đố 313, trang 336: Đúng ra cả hai có thể xem như 2 mặt của cùng một vấn đề: không có lựa chọn nào khác; chỉ có một khả năng. Thiên nhiên cho ta thấy rằng sự việc phải xảy ra như vậy vì mọi vật phụ thuộc lẫn nhau.

Câu đố 315, trang 354: Khối lượng là số đo năng lượng. 'Bình phương khối lượng' không có ý nghĩa gì.

Câu đố 318, trang 355: Công thức với $n - 1$ là vừa vặn nhất. Tại sao?

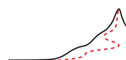
Câu đố 321, trang 357: Không! Chính xác quá thành ra vô nghĩa. Chúng chỉ mang tính minh hoạ cho dáng điệu của phân bố Gauss. Các phân bố số đo thực không phải là phân bố Gauss theo độ chính xác hàm chứa trong các con số này.

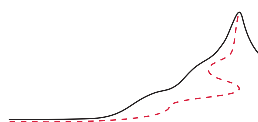
Câu đố 322, trang 357: Khoảng 0.33 m/s. Nó *không phải là* 0.333 m/s và cũng *không có* chuỗi số 3 nào dài hơn nữa!

Câu đố 324, trang 363: Tốc độ chậm lại có *bậc hai* theo thời gian vì mỗi lần chậm mới cộng thêm vào lần cũ!

Câu đố 325, trang 363: Không, chỉ có các tính chất của một số phần trong vũ trụ được liệt kê. Tự vũ trụ không có tính chất, như ta sẽ trình bày chi tiết trong phần cuối của cuộc thám hiểm này.

Quyển VI, trang 112





Tài liệu tham khảo

> [...] tôi, người luôn luôn nhận thấy mọi cuốn sách đều quá dài, và trước tiên là sách của tôi [...]
>
> Voltaire, *Lettre à M. Cideville.**

1 Julian Schwinger, L. L. DeRaad, K. A. Milton & W. Y. Tsai, *Classical Electrodynamics*, Perseus, 1998. An excellent text on the topic by one of its greatest masters.
See also the beautiful problem book by André Butoli & Jean-Marc Lévy-Leblond, *La physique en questions – électricité et magnétisme*, Vuibert, 1999. Cited on pages 16 and 83.

2 A pretty book about the history of magnetism and the excitement it generates is James D. Livingston, *Driving Force – the Natural Magic of Magnets*, Harvard University Press, 1996. Cited on page 17.

3 R. Edwards, *Filling station fires spark cars' recall*, New Scientist, pp. 4–5, 4 March 1995. Cited on page 19.

4 S. Desmet, F. Orban & F. Grandjean, *On the Kelvin electrostatic generator*, European Journal of Physics **10**, pp. 118–122, 1989. You can also find construction plans for it in various places on the internet. Cited on page 19.

5 F. Steinle, *Exploratives Experimentieren – Georges Dufay und die Entdeckung der zwei Elektrizitäten*, Physik Journal **3**, pp. 47–52, 2004. Cited on page 21.

6 For an etching of Franklin's original ringing rod, see E. P. Krider, *Benjamin Franklin and lightning rods*, Physics Today **59**, pp. 42–48, 2006. Cited on page 21.

7 W. Rueckner, *An improved demonstration of charge conservation*, American Journal of Physics 75, pp. 861–863, 2007. Cited on page 23.

8 For more details on various electromagnetic units, see the standard text by J. D. Jackson, *Classical Electrodynamics*, 3rd edition, Wiley, 1998. Cited on pages 27 and 389.

9 See the old but beautiful papers by Richard C. Tolman & T. Dale Stewart, *The electromotive force produced by the acceleration of metals*, Physical Review **8**, pp. 97–116, 1916, Richard C. Tolman & T. Dale Stewart, *The mass of the electric carrier in copper, silver and aluminium*, Physical Review **9**, pp. 164–167, 1917, and the later but much more precise experiment by C. F. Kettering & G. G. Scott, *Inertia of the carrier of electricity in copper and aluminum*, Physical Review **66**, pp. 257–267, 1944. (Obviously the American language dropped the 'i' from aluminium during that period.) The first of these papers is also a review of the preceding attempts, and explains the experiment in detail. The last paper shows what had to be taken into consideration to achieve sufficient precision. Cited on page 29.

* '[...] me, who always finds all books too long, first of all my own [...]'.

10 This effect has first been measured by S. J. Barnett, *A new electron-inertia effect and the determination of m/e for the free electron in copper*, Philosophical Magazine **12**, p. 349, 1931. Cited on page 30.

11 See for example C. Schiller, A. A. Koomans, T.L. van Rooy, C. Schönenberger & H. B. Elswijk, *Decapitation of tungsten field emitter tips during sputter sharpening*, Surface Science Letters **339**, pp. L925–L930, 1996. Cited on page 30.

12 L. I. Schiff & M. V. Barnhill, *Gravitational-induced electric field near a metal*, Physical Review **151**, pp. 1067–1071, 1966. F. C. Witteborn & W. M. Fairbank, *Experimental comparison of the gravitational force on freely falling electrons and metallic electrons*, Physical Review Letters **19**, pp. 1049–1052, 1967. Cited on page 32.

13 J. Lepak & M. Crescimanno, *Speed of light measurement using ping*, electronic preprint available at arxiv.org/abs/physics/0201053. Cited on page 32.

14 This story was printed on its fron page by the *Wall Street Journal* on 15 December 2006 under the title *Firms seek edge through speed as computer trading expands*. Cited on page 32.

15 J. D. Pettigrew, *Electroreception in monotremes*, Journal of Experimental Biology **202**, pp. 1447–1454, 1999. Cited on page 34.

16 For an excellent review article on the fascinating field of electric fish, see C. D. Hopkins, *Electrical Perception and Communication*, Encyclopedia of Neuroscience **3**, pp. 813–831, 2009. Hopkin's research laboratory can be found at www.nbb.cornell.edu. Cited on pages 34 and 369.

17 On the search for magnetic monopoles, see the website of the Particle Data Group, the world's reference, at pdg.web.cern.ch. See also H. Jeon & M. Longo, *Search for magnetic monopoles trapped in matter*, Physical Review Letters **75**, pp. 1443–1447, 1995. See also A. S. Goldhaber & W. P. Trower, *Resource letter MM-1: magnetic monopoles*, American Journal of Physics **58**, pp. 429–439, 1990. Cited on page 36.

18 Pierre de Maricourt, *Tractatus de magnete*, 1269. Cited on page 38.

19 R. Wiltschko & W. Wiltschko, *Magnetic Orientation in Animals*, Springer, 1995. Cited on page 40.

20 M. Lauwers & al., *An iron-rich organelle in the cuticular plate of avian hair cells*, Current biology **23**, pp. 924–929, 2013. This paper presets the newest candidate for the location of the basic magnetic sensor in birds. Cited on page 41.

21 I. A. Solov'yov, K. Schulten & W. Greiner, *Nur dem Schnabel nach?*, Physik Journal **9**, pp. 23–28, 2010. Cited on page 41.

22 The ratio of angular L to magnetic M moment is

$$\frac{L}{M} = \frac{2m}{e} \cdot \frac{1}{g} , \qquad (122)$$

where e is the electron charge and m its mass. Both L and M are measurable. The first measurements were published with a g-value of 1, most probably because the authors expected the value. In later experiments, de Haas found other values. Measurements by other researchers gave values nearer to 2 than to 1, an observation that was only understood with the discovery of spin. The original publications are A. Einstein & W. J. de Haas, *Proefondervinderlijk bewijs voor het bestaan der moleculaire stroomen van Ampère*, Konninklijke Akademie der Wetenschappen te Amsterdam, Verslagen **23**, p. 1449, 1915, and A. Einstein & W. J. de Haas, *Experimental proof of the existence of Ampère's molecular currents*, Konninklijke Akademie der Wetenschappen te Amsterdam, Proceedings **18**, p. 696, 1916. Cited on page 44.

23 S. J. Barnett, *Magnetization by rotation*, Physical Review **6**, pp. 171–172, 1915, and S. J. Barnett, *Magnetization by rotation*, Physical Review **6**, pp. 239–270, 1915. Cited on page 45.

24 See J. D. Jackson, *Classical Electrodynamics*, 3rd edition, Wiley, 1998, or also R. F. Harrington, *Time Harmonic Electromagnetic Fields*, McGraw–Hill, 1961. Cited on pages 49 and 83.

25 The best available book on the brain is the one by Eric R. Kandel, James H. Schwartz & Thomas M. Jessell, *Principles of Neural Science*, fifth edition, McGraw-Hill, 2000. The suhep.phy.syr.edu/courses/modules/MM/brain/brain.html website gives an introduction into brain physiology. Cited on page 49.

26 N. Salingaros, *Invariants of the electromagnetic field and electromagnetic waves*, American Journal of Physics **53**, pp. 361–363, 1985. Cited on page 51.

27 A. L. Hodgkin & A. F. Huxley, *A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve*, Journal of Physiology **117**, pp. 500–544, 1952. This famous paper of theoretical biology earned the authors the Nobel Prize in Medicine in 1963. Cited on page 52.

28 See the excellent overview article by T. Heimburg, *Die Physik von Nerven*, Physik Journal **8**, pp. 33–39, 2009. See also S. S. L. Andersen, A. D. Jackson & T. Heimburg, *Towards a thermodynamic theory of nerve pule propagation*, Progress in Neurobiology **88**, pp. 104–113, 2009, the website membranes.nbi.dk, and the text Thomas Heimburg, *Thermal Biophysics of Membranes*, Wiley-VCH, 2007. Cited on page 53.

29 A.C. de la Torre, *$v \leqslant c$ in 1820?*, European Journal of Physics **20**, pp. L23–L24, March 1999. Cited on page 54.

30 See U. Fantz & A. Lotter, *Blitze zum Anfassen*, Physik in unserer Zeit **33**, pp. 16–19, 2002. More information is available on www.physik.uni-augsburg.de/epp. Cited on page 61.

31 R. H. Tyler, S. Maus & H. Lühr, *Magnetic signal due to ocean tidal flow identified in satellite observations*, Science **299**, pp. 239–241, 2003. The films derived from the data can be found on the www.tu-braunschweig.de/institute/geophysik/spp/publikationen.html website. Cited on page 63.

32 H. Montgomery, *Unipolar induction: a neglected topic in the teaching of electromagnetism*, European Journal of Physics **20**, pp. 271–280, 1999. Cited on page 65.

33 On the geodynamo status, see the articles G. A. Glatzmaier & P. H. Roberts, *Rotation and magnetism of Earth's inner core*, Science **274**, pp. 1887–1891, 1996, and P. H. Roberts & G. A. Glatzmaier, *Geodynamo theory and simulations*, Reviews of Modern Physics **72**, pp. 1081–1123, 2000. An older article is R. Jeanloz & B. Romanowicz, *Geophysical dynamics at the center of the Earth*, Physics Today pp. 22–27, August 1997. Cited on pages 65 and 223.

34 A. Yazdani, D. M. Eigler & N. D. Lang, *Off-resonance conduction through atomic wires*, Science **272**, pp. 1921–1924, 28 June 1996. For aluminium, gold, lead, niobium, as well as the influence of chemical properties, see Elke Scheer, *The signature of chemical valence in the electric conduction through a single-atom contact*, Nature **394**, pp. 154–157, 9 July 1998. Cited on page 67.

35 J. Yang, F. Lu, L. W. Kostiuk & D. Y. Kwok, *Electrokinetic microchannel battery by means of electrokinetic and microfluidic phenomena*, Journal of Micromechanics and Microengineering **13**, pp. 963–970, 2003. Cited on page 68.

36 See L. Kowalski, *A myth about capacitors in series*, The Physics Teacher **26**, pp. 286–287, 1988, and A. P. French, *Are the textbook writers wrong about capacitors?*, The Physics Teacher **31**, pp. 156–159, 1993. Cited on page 68.

37 A discussion of a different electrical indeterminacy relation, between current and charge, can be found in Y-Q. Li & B. Chen, *Quantum theory for mesoscopic electronic circuits and its applications*, preprint at arxiv.org/abs/cond-mat/9907171. Cited on page 69.

38 A sober but optimistic evaluation, free of the cheap optimism of tabloid journalism, is R. W. Keyes, *Miniaturization of electronics and its limits*, IBM Journal of Research and Development **32**, pp. 84–88, 1988. In its last figure, it predicted that the lower limit kT for the energy dissipated by a logical operation would be reached around 2015. Cited on page 70.

39 J. A. Heras, *Can Maxwell's equations be obtained from the continuity equation?*, American Journal of Physics **75**, pp. 652–657, 2007. Cited on pages 70, 81, 93, and 245.

40 A similar summary is the basis of Friedrich W. Hehl & Yuri N. Obukov, *Foundations of Classical Electrodynamics – Charge, Flux and Metric*, Birkhäuser 2003. Cited on page 70.

41 On the non-existence of closed magnetic field lines in the general case, see J. Slepian, *Lines of force in electric and magnetic fields*, American Journal of Physics **19**, pp. 87–90, 1951, M. Lieberherr, *The magnetic field lines of a helical coil are not simple loops*, American Journal of Physics **78**, pp. 1117–1119, 2010, F. Herrmann & R. von Baltz, *Altlasten der Physik (128): Geschlossene magnetische Feldlinien*, Praxis der Naturwissenschaften: Physik in der Schule **60**, pp. 48–49, 2011. Cited on page 80.

42 Oleg D. Jefimenko, *A relativistic paradox seemingly violating conservation of momentum law in electromagnetic systems*, European Journal of Physics **20**, pp. 39–44, 1999. Cited on page 82.

43 H. Van Dam & E. P. Wigner, *Classical relativistic mechanics of interacting point particles*, Physical Review **136B**, pp. 1576–1582, 1965. Cited on page 82.

44 Mark D. Semon & John R. Taylor, *Thoughts on the magnetic vector potential*, American Journal of Physics **64**, pp. 1361–1369, 1996. Cited on pages 84 and 86.

45 Jean Sivardière, *Simple derivation of magnetic vector potentials*, European Journal of Physics **14**, pp. 251–254, 1993. Cited on page 85.

46 T. T. Wu & C. N. Yang, 1975, *Concept of nonintegrable phase factors and global formulation of gauge fields*, Physical Review D **12**, pp. 3845–3857, Cited on page 87.

47 See reference Xem 8 or A. M. Stewart, *Angular momentum of the electromagnetic field: the plane wave paradox explained*, European Journal of Physics **26**, pp. 635–641, 2005. Cited on page 90.

48 An electrodynamics text completely written with (mathematical) forms is Kurt Meetz & Walter L. Engl, *Elektromagnetische Felder – mathematische und physikalische Grundlagen*, Springer, 1980. Cited on page 88.

49 See for example the discussion by M. C. Corballis & I. L. Beale, *On telling left from right*, Scientific American **224**, pp. 96–104, March 1971. Cited on page 92.

50 In 1977, Claus Montonen and David Olive showed that quantum theory allows duality transformations even *with* the inclusion of matter, if specific types of magnetic monopoles, the so-called *dyons*, exist. The fundamental paper is D. Olive & C. Montonen, *Magnetic monopoles as gauge particles*, Physics Letters **72B**, pp. 117–120, 1977. Many other papers built on this one; however, no experimental support for the approach has ever appeared. Cited on page 93.

51 WOLFGANG RINDLER, *Essential Relativity – Special, General, and Cosmological*, revised 2nd edition, Springer Verlag, 1977, page 247. There is also the beautiful paper by M. LE BELLAC & J.-M. LÉVY-LEBLOND, *Galilean electrodynamics*, Nuovo Cimento B **14**, p. 217, 1973, that explains the possibilities but also the problems appearing when trying to define the theory non-relativistically. Cited on page 93.

52 L.-C. TU, J. LUO & G. T. GILLES, *The mass of the photon*, Reports on Progress of Physics **68**, pp. 77–130, 2005. Cited on page 94.

53 The system for typing by thought alone is described in many papers, such as B. BLANKERTZ, F. LOSCH, M. KRAULEDAT, G. DORNHEGE, G. CURIO & K.-R. MÜLLER, *The Berlin Brain-Computer Interface: accurate performance from first session in BCI-naïve subjects*, IEEE Transactions on biomedial engineering **55**, pp. 2452–2462, 2008. See the website www.bbci.de for more information. Cited on page 95.

54 See, for example, the paper by I. MARTINOVIC, D. DAVIES, M. FRANK, D. PERITO, T. ROS & D. SONG, *On the feasibility of side-channel attacks with brain-computer interfaces*, presented at USENIX Security, 2012, found at www.usenix.org/conference/usenixsecurity12. Cited on page 96.

55 D. SINGLETON, *Electromagnetic angular momentum and quantum mechanics*, American Journal of Physics **66**, pp. 697–701, 1998, Cited on page 96.

56 The magnetic pole strength is discussed in the textbooks by J.C. Maxwell, A. Sommerfeld, J.D. Jackson and others. Cited on page 97.

57 C. HOYOS, N. SIRCAR & J. SONNENSCHEIN, *New knotted solutions of Maxwell's equations*, J. Phys. A: Math. Theor. **48**, p. 255204, 2015, preprint at arxiv.org/abs/1502.01382. The paper also provides a short review of recent research. Cited on page 97.

58 For a captivating account on the history of the ideas on light, see DAVID PARK, *The Fire Within the Eye: a Historical Essay on the Nature and Meaning of Light*, Princeton University Press, 1997. For an example of the complex history of optics, see the famous text by Alhazen or Ibn al-Haytham, *Book of Optics* 1021. However, no Arabic website allows reading the text, and the Arabic Wikipedia articles on the topic are much shorter than the French or English ones. Indeed, like most ancient Middle-East thinkers, Alhazen (b. *c.* 965 Basra, d. 1039 Cairo) is better known in Europe than in his home region. A Latin translation of the Book of Optics can be read at the imgbase-scd-ulp.u-strasbg.fr/displayimage.php?album=44&pos=0 website of the Université de Strasbourg. Around the year 1000, Alhazen performed many experiments on refraction of light, as did Ptolemy almost nine hundred years before him. The measurement results of Ptolemy are still known. But neither researcher found the Snell–Descartes expression for refraction. Alhazen even knew the sine function; despite this knowledge, he did not find the expression. For more details, see E. KIRCHNER, *Wie ontdekte de wet van Snellius?*, Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde **81**, pp. 198–201, 2015. Cited on page 98.

59 See the text by RAYMOND L. LEE & ALISTAIR B. FRASER, *The Rainbow Bridge: Rainbows in Art, Myth, and Science*, Pennsylvania State University Press, 2000. A chapter can be found at the www.usna.edu/Users/oceano/raylee/RainbowBridge/Chapter_8.html website. Cited on page 103.

60 For a detailed explanation of supernumerary rainbows, see www.atoptics.co.uk/fz696.htm. For a beautiful picture collection, see www.flickr.com/groups/supernumeraryrainbows/. An excellent article on rainbows and on the effects of drop shapes, with beautiful photographs, graphics and drawings, is I. SADEGHI, A. MUNOZ, P. LAVEN, W. JAROSZ, F. SERON, D. GUTIERREZ & H. W. JENSEN, *Physically-based simulation of rainbows*,

ACM Transactions on Graphics **31**, pp. 1–6, 2011. They show, among others, how flattened water drops yield flattened bows. Cited on pages 104 and 130.

61 The beautiful slit experiment was published by E. A. Montie, E. C. Cosman, G. W. 't Hooft, M.B. van der Mark & C. W. J. Beenakker, *Observation of the optical analogue of quantized conductance of a point contact*, Nature **350**, pp. 594–595, 18 April 1991, and in the longer version E. A. Montie, E. C. Cosman, G. W. 't Hooft, M.B. van der Mark & C. W. J. Beenakker, *Observation of the optical analogue of the quantised conductance of a point contact*, Physica B **175**, pp. 149–152, 1991. The result was also publicized in numerous other scientific magazines. Cited on page 104.

62 A recent measurement of the frequency of light is presented in Th. Udem, A. Huber, B. Gross, J. Reichert, M. Prevedelli, M. Weitz & T. W. Hausch, *Phase-coherent measurement of the hydrogen 1S–2S transition frequency with an optical frequency interval divider chain*, Physical Review Letters **79**, pp. 2646–2649, 1997. Another is C. Schwob, L. Jozefowski, B. de Beauvoir, L. Hilico, F. Nez, L. Julien, F. Biraben, O. Acef & A. Clairon, *Optical frequency measurement of the 2S-12D transitions in hydrogen and deuterium: Rydberg constant and Lamb shift determinations*, Physical Review Letters **82**, pp. 4960–4963, 21 June 1999. Cited on page 106.

63 The discoverors of such a method, the frequency comb, Theodor Hänsch and John Hall were awarded, together with Roy Glauber, the 2005 Nobel Prize in Physics. See John L. Hall & Theodor W. Hänsch, *History of optical comb development*, in Jun Ye & Steven T. Cundiff, editors, *Femtosecond Optical Frequency Comb: Principle, Operation, and Applications*, Springer, 2004. Cited on page 106.

64 M. Burresi, D. van Osten, T. Kampfrath, H. Schoenmaker, R. Heideman, A. Leinse & L. Kuipers, *Probing the magnetic field of light at optical frequencies*, Science Express October 2009. Cited on page 107.

65 K. L. Kelly, *Color designations for colored lights*, Journal of the Optical Society of America **33**, pp. 627–632, 1943. Cited on page 110.

66 About the polarization pattern and its use by insects, see K. Pfeiffer & U. Homberg, *Coding of azimuthal directions via time-compensated combination of celestial compass cues*, Current Biology **17**, pp. 960–965, 2007. Cited on pages 112 and 417.

67 The best introduction to mirages are the web pages by Andrew Young at aty.sdsu.edu/mirages/mirintro.html. See also the pages aty.sdsu.edu/bibliog/alphindex.html and aty.sdsu.edu/bibliog/toc.html. He explains the many types that exist: inferior mirages, superior mirages, fata morganas, mock mirages, Wegener-type mirages, Nachspiegelung, and also gives many references, clearly distinguishing which ones give correct and which one give incorrect explanations. He also simulates mirages, as explained on the page aty.sdsu.edu/mirages/mirsims/mirsimintro.html. There is no modern review article on the topic yet. See also A. T. Young, G. W. Kattawar & P. Parviainien, *Sunset science I – the mock mirage*, Applied Optics **36**, pp. 2689–2700, 1997. For a further aspect of mirages, see G. Horváth, J. Gál & R. Wehner, *Why are water-seeking insects not attracted by mirages? The polarization pattern of mirages*, Naturwissenschaften **83**, pp. 300–303, 1997. Cited on page 113.

68 W. K. Haidinger, *Über das direkte Erkennen des polarisierten Lichts*, Poggendorf's Annalen **63**, pp. 29–39, 1844, W. K. Haidinger, *Beobachtung des Lichtpolarisationsbüschels in geradlinig polarisiertem Lichte*, Poggendorf's Annalen **68**, pp. 73–87, 1846, W. K. Haidinger, *Dauer des Eindrucks der Polarisationsbüschel auf der Netzhaut*, Poggendorf's Annalen **93**, pp. 318–320, 1854. Cited on page 113.

69 See the chapter on polarization brushes in Marcel G. J. Minnaert, *Light and Colour in the Outdoors*, Springer, 1993, or the original book series, Marcel G. J. Minnaert, *De natuurkunde van 't vrije veld*, Thieme & Cie, 1937. For more details, see G. P. Mission, *Form and behaviour of Haidinger's brushes*, Ophthalmology and Physiological Optics **137**, pp. 392–396, 1993, or J. Grebe-Ellis, *Zum Haidinger-Büschel*, 2002, at didaktik.physik.hu-berlin.de/forschung/optik/download/veroeffentlichungn/haidinger.pdf. On the birefringence of the eye, see L. Bour, *Een eigenaardige speling der natuur*, Nederlands tijdschrift voor natuurkunde **67**, pp. 362–364, December 2001. In particular, a photograph of the eye using linear polarized illumination and taken through an analyser shows a black *cross* inside the pupil. Cited on page 114.

70 T. W. Cronin & J. Marshall, *Patterns and properties of polarized light in air and water*, Philosophical Transactions of the Royal Society B **366**, pp. 619–626, 2011, available free online at rstb.royalsocietypublishing.org. Cited on page 117.

71 Edward M. Purcell, *Electricity and Magnetism – Berkeley Physics Course Volume 2*, McGraw–Hill, 1984. Cited on page 117.

72 This was the book series in twenty volumes by Aaron Bernstein, *Naturwissenschaftliche Volksbücher*, Duncker, 1873-1874. The young Einstein read them, between 1892 and 1894, with 'breathless attention', as he wrote later on. They can still be read in many libraries. Cited on page 120.

73 On the ways to levitate and manipulate small glass beads with lasers, see the article D. McGloin, *Optical tweezers: 20 years on*, Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences **364**, pp. 3521–3537, 2006. The photographs shown on Trang 121 are from T. Li, S. Kheifets, D. Medellin & M. G. Raizen, *Measurement of the instantaneous velocity of a Brownian particle*, Science **328**, pp. 1673–1675, 2010, and T. Li, S. Kheifets & M. G. Raizen, *Millikelvin cooling of an optically trapped microsphere in vacuum*, Nature Physics 7, pp. 527–530, 2011. Cited on page 120.

74 The first correct explanation of the light mill was given by Osborne Reynolds, *On certain dimensional properties of matter in the gaseous state*, Royal Society Philosophical Transactions Part 2, 1879. The best discussion is the one given on the web by Phil Gibbs, in the frequently asked question list of the usenet news group sci.physics; it is available at the www.desy.de/user/projects/Physics/General/LightMill/light-mill.html website. A film of a rotating radiometer is found in commons.wikimedia.org. Cited on page 123.

75 P. Lebedew, *Untersuchungen über die Druckkräfte des Lichtes*, Annalen der Physik **6**, pp. 307–458, 1901. Lebedew confirmed Kepler's result that light pressure is the basis for the change of direction of the tails of comet when they circle around the Sun. Cited on page 123.

76 P. Galajda & P. Ormos, Applied Physics Letters **78**, p. 249, 2001. Cited on page 123.

77 A short overview is given by Miles Padgett & Les Allen, *Optical tweezers and spanners*, Physics World pp. 35–38, September 1997. The original papers by Ashkin's group are A. Ashkin, J. M. Dziedzic, J. E. Bjorkholm & S. Chu, *Observation of a gradient force optical trap for dielectric particles*, Optics Letters **11**, p. 288, 1986, and A. Askin, J. M. Dziedzic & T. Yamane, *Optical trapping and manipulation of single cells using infrared laser beams*, Nature **330**, p. 769, 1987. A pedagogical explanation on optical spanners, together with a way to build one, can be found in D. N. Moothoo, J. Arlt, R. S. Conroy, F. Akerboom, A. Voit & K. Dholakia, *Beth's experiment using optical tweezers*, American Journal of Physics **69**, pp. 271–276, 2001, and in S. P. Smith, S. R. Bhalotra, A. L. Brody, B. L. Brown, E. K. Boyda & M. Prentiss,

Inexpensive optical tweezers for undergraduate laboratories, American Journal of Physics **67**, pp. 26–35, 1999. Cited on page 123.

78 R. A. Beth, *Mechanical detection and measurement of the angular momentum of light*, Physical Review **50**, p. 115, 1936. For modern measurements, see N. B. Simpson, K. Dholakia, L. Allen & M. J. Padgett, *Mechanical equivalence of spin and orbital angular momentum of light: an optical spanner*, Optics Letters **22**, pp. 52–54, 1997, and M. E. J. Friese, T. A. Nieminen, N. R. Heckenberg & H. Rubinsztein-Dunlop, *Optical torque controlled by elliptical polarization*, Optics Letters **23**, pp. 1–3, 1998. See also J. H. Poynting, *The wave motion of a revolving shaft, and a suggestion as to the angular momentum in a beam of circularly polarised light*, Proceedings of the Royal Society London A **82**, pp. 560–567, 1908. Cited on page 123.

79 The photographs are from P. H. Jones, F. Palmisano, F. Bonaccorso, P. G. Gucciardi, G. Calogero, A. C. Ferrari & O. M. Marago, *Rotation detection in light-driven nanorotors*, ACS Nano **3**, pp. 3077–3084, 2009. Cited on pages 123 and 417.

80 A. Valenzuela, G. Haerendel, H. Föppl, F. Melzner, H. Neuss, E. Rieger, J. Stöcker, O. Bauer, H. Höfner & J. Loidl, *The AMPTE artificial comet experiments*, Nature **320**, pp. 700–703, 1986. Cited on page 124.

81 See the Latin text by Dietrich von Freiberg, *De iride et radialibus impressionibus*, *c.* 1315. Cited on page 126.

82 J. Walker, *Multiple rainbows from single drops of water and other liquids*, American Journal of Physics **44**, pp. 421–433, 1976, and his *How to create and observe a dozen rainbows in a single drop of water*, Scientific American **237**, pp. 138–144, 1977. See also K. Sassen, *Angular scattering and rainbow formation in pendant drops*, Journal of the Optical Society of America **69**, pp. 1083–1089, 1979. A beautiful paper with the formulae of the angles of all rainbows is E. Willerding, *Zur Theorie von Regenbögen, Glorien und Halos*, 2003, preprint on the internet. It also provides sources for programs that allow to simulate rainbows on a personal computer. Cited on page 126.

83 There are also other ways to see the green ray, for longer times, namely when a mirage appears at sunset. An explanation with colour photograph is contained in M. Vollmer, *Gespiegelt in besonderen Düften ...– Oasen, Seeungeheuer und weitere Spielereien der Fata Morgana*, Physikalische Blätter **54**, pp. 903–909, 1998. Cited on page 127.

84 The resulting colouring of the Sun's rim is shown clearly on Andrew Young's web page mintaka.sdsu.edu/GF/explain/simulations/std/rims.html. His website mintaka.sdsu.edu/GF offers the best explanation of the green flash, including the various types that exist (explained at mintaka.sdsu.edu/GF/papers/Zenit/glance.html), how to observe it, and the numerous physical effects involved. Detailed simulations and extensive material is available. See also his paper A. T. Young, *Sunset science – III. Visual adaptation and green flashes*, Journal of the Optical Society of America A **17**, pp. 2129–2139, 2000. Cited on page 127.

85 See the wonderful website by Les Cowley on atmospheric optics, www.atoptics.co.uk. Or the book David K. Lynch & William Livingston, *Color and Light in Nature*, second edition, Cambridge University Press, 2001. They updated and expanded the fascination for colours in nature – such as, for example, the halos around the Moon and the Sun, or the colour of shadows – that was started by the beautiful and classic book already mentioned earlier on: Marcel G. J. Minnaert, *Light and Colour in the Outdoors*, Springer, 1993, an updated version based on the wonderful original book series Marcel G. J. Minnaert, *De natuurkunde van 't vrije veld*, Thieme & Cie, 1937. Cited on page 127.

Quyển I, trang 99

86 About the colour of the ozone layer seen at dawn and the colour of the sky in general, see G. Hoeppe, *Die blaue Stunde des Ozons*, Sterne und Weltraum pp. 632–639, August 2001, and also his extensive book Götz Hoeppe, *Blau: Die Farbe des Himmels*, Spektrum Akademischer Verlag, 1999, also available in English as the extended revision Götz Hoeppe, *Why the Sky is Blue: Discovering the Color of Life*, Princeton University Press, 2007, This beautiful text also tells why bacteria were essential to produce the colour of the sky. Cited on page 128.

87 The beautiful *RGB Color Atlas* from 2011 by Tauba Auerbach is presented on her astonishing website at taubaauerbach.com/view.php?id=286&alt=698. The books were produced together with Daniel E. Kelm. In fact, they produced three such books, with spines in different directions, as shown on the website. Cited on page 128.

88 This famous discovery is by Brent Berlin & Paul Kay, *Basic Color Terms: Their Universality and Evolution*, University of California Press, 1969. The status of their decades-long *world colour survey* is summarized on www1.icsi.berkeley.edu/wcs. Of course there are also ongoing studies to find possible exceptions; but the basic structure is solid, as shown in the conference proceedings C. L. Hardin & Luisa Maffi, *Colour Categories in Thought and Language*, Cambridge University Press, 1997. Cited on page 130.

89 For a thorough discussion of the various velocities connected to wave trains, see the classic text by Louis Brillouin, *Wave Propagation and Group Velocity*, Academic Press, New York, 1960. It expands in detail the theme discussed by Arnold Sommerfeld, *Über die Fortpflanzung des Lichtes in dispergierenden Medien*, Annalen der Physik, 4th series, **44**, pp. 177–202, 1914. See also Arnold Sommerfeld, *Optik*, Dietrichssche Verlagsbuchandlung, Wiesbaden 1950, section 22. An English translation Arnold Sommerfeld, *Lectures on Theoretical Physics: Optics*, 1954, is also available. Cited on pages 134 and 135.

90 Changing the group velocity in fibres is now even possible on demand, as shown by M. González-Herráez, K. -Y. Song & L. Thévenaz, *Optically controlled slow and fast light in optical fibers using stimulated Brillouin scattering*, Applied Physics Letters **87**, p. 081113, 2005. They demonstrate group velocities from 0.24c to plus infinity and beyond, to negative values.

Another experiment was carried out by S. Chu & S. Wong, *Linear pulse propagation in an absorbing medium*, Physical Review Letters **48**, pp. 738–741, 1982. See also S. Chu & D. Styer, *Answer to question #52. Group velocity and energy propagation*, American Journal of Physics **66**, pp. 659–661, 1998. Another example was described in 1993 by the group of Raymond Chiao for the case of certain nonlinear materials in R. Chiao, P. G. Kwait & A. M. Steinberg, *Faster than light?*, Scientific American **269**, p. 52, August 1993, and R. Y. Chiao, A. E. Kozhekin & G. Kurizki, *Tachyonlike excitations in inverted two-level media*, Physical Review Letters 77, pp. 1254–1257, 1996. On still another experimental set-up using anomalous dispersion in caesium gas, see L. J. Wang, A. Kuzmich & A. Dogarin, *Gain-assisted superluminal light propagation*, Nature **406**, pp. 277–279, 20 July 2000. Cited on page 135.

91 G. Nimtz, A. Enders & H. Spieker, Journal de Physique I (Paris) **4**, p. 565, 1994. Unfortunately, Nimtz himself seems to believe that he transported energy or signals faster than light; he is aided by the often badly prepared critics of his quite sophisticated experiments. See A. Enders & G. Nimtz, Physikalische Blätter **49**, p. 1119, Dezember 1993, and the weak replies in Physikalische Blätter **50**, p. 313, April 1994. See also A. M. Steinberg, Journal de Physique I (Paris) **4**, p. 1813, 1994, A. M. Steinberg, P. G. Kwiat & R. Y. Chiao, Physical Review Letters **71**, pp. 708–711, 1993, and

A. Ranfagni, P. Fabeni, G. P. Pazzi & D. Mugnai, Physical Review E **48**, p. 1453, 1993. Cited on page 136.

92 Y. P. Terletskii, *Paradoxes in the Theory of Relativity*, Plenum Press, 1968. Cited on page 136.

93 See the excellent explanation by Kirk T. McDonald, *Negative group velocity*, American Journal of Physics **69**, pp. 607–614, 2001. Cited on page 136.

94 A summary of all evidence about the motion of the aether is given by R. S. Shankland, S. W. McCuskey, F. C. Leone & G. Kuerti, *New analysis of the interferometer observations of Dayton C. Miller*, Review of Modern Physics **27**, pp. 167–178, 1955. An older text is H. Witte, Annalen der Physik **26**, p. 235, 1908. Cited on page 137.

95 The history of the concept of vacuum can be found in the book by E. Grant, *Much Ado About Nothing*, Cambridge University Press, 1981, and in the extensive reference text by Edmund T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, Volume 1: *The Classical Theories*, Volume 2: *The Modern Theories*, Tomash Publishers, American Institute of Physics 1951, 1987.

The various *aether models* – gears, tubes, vortices – proposed in the nineteenth century were dropped for various reasons. Since many models used to explain electric and magnetic fields as motion of some entities, it was concluded that the speed of light would depend on electric or magnetic fields. One type of field was usually described by linear motion of the entities, the other by rotatory or twisting motion; both assignments are possible. As a consequence, aether must be a somewhat strange fluid that flows perfectly, but that resists rotation of volume elements, as McCullogh deduced in 1839. However, experiments show that the speed of light in vacuum does not depend on electromagnetic field intensity. Vortices were dropped because real world vortices were found out to be unstable. All models received their final blow when they failed to meet the requirements of special relativity. Cited on page 138.

96 M. von Laue, *Zur Thermodynamik der Interferenzerscheinungen*, Annalen der Physik **20**, pp. 365–378, 1906. Cited on page 139.

97 See, for example, the review by L. C. Tu, J. Luo & G. T. Gillies, *The mass of the photon*, Reports on Progress in Physics **68**, pp. 77–130, 2005. Cited on page 139.

98 To learn about the geometric phase in optics, see E. J. Galvez & P. M. Koch, *Use of four mirrors to rotate linear polarization but preserve input-ouput collinearity II*, Journal of the Optical Society of America **14**, pp. 3410–3414, 1999, E. J. Galvez & C. D. Holmes, *Geometric physe of optical rotators*, Journal of the Optical Society of America **16**, pp. 1981–1985, 1999, as well as various other papers by Enrique Galvez. See also the paper by R. Bhandari, *Geometric phase in interference experiments*, Current Science **67**, pp. 224–-230, 1994. Cited on pages 141 and 374.

99 A useful collection of historical papers is Frank Wilczek & Alfred Shapere, eds., *Geometric Phases in Physics*, World Scientific, 1989. See also the vivid paper M. Berry, *Pancharatnam, virtuoso of the Poincaré sphere: an appreciation*, Current Science **67**, pp. 220–223, 1994. Cited on page 142.

100 Dénes Száz & Gábor Horváth, *Success of sky-polarimetric Viking navigation: revealing the chance Viking sailors could reach Greenland from Norway*, Royal Society Open Science **5**, p. 172187, 2018. Cited on page 142.

101 Stephen G. Lipson, David S. Tannhauser & Henry S. Lipson, *Optical Physics*, Cambridge University Press, 1995. Cited on page 143.

102 The original paper is J. F. Nye & M. V. Berry, *Dislocations in wave trains*, Proceedings of

the Royal Society A **336**, pp. 165–190, 1974. A new summary is M. V. Berry, *Exploring the colours of dark light*, New Journal of Physics **4**, pp. 74.1–74.14, 2002, free online at www.njp.org. Cited on page 144.

103 O. Arteaga, E. Garcia-Caurel & R. Ossikovski, *Stern-Gerlach experiment with light: separating photons by spin with the method of A. Fresnel*, Optics Express **27**, pp. 4758–4768, 2019. Cited on page 144.

104 M. Arrayás & J. L. Trueba, *Electromagnetic torus knots*, preprint at arxiv.org/abs/1106.1122. Cited on page 144.

105 There are many good introductions to optics in every library. A good introduction that explains the fundamental concepts step by step is the relevant chapter in the physics book by Eric Mazur, available on the internet; one day it will be published by Prentice Hall. Cited on page 145.

106 A good overview of the invention and the life of Frits Zernike is given by Menno van Dijk, *Ken uw klassieken: hoe Frits Zernike fasecontrast ontdekte*, Nederlands tijdschrift voor natuurkunde **71**, pp. 194–196, June 2005. Cited on page 145.

107 See its www.cie.co.at/cie website. Cited on page 148.

108 P. D. Jones, M. New, D. E. Parker, S. Martin & I. G. Rigor, *Surface air temperature and its changes over the past 150 years*, Reviews of Geophysics **37**, pp. 173–199, May 1999. Cited on page 149.

109 He recalls this episode from 1933 in M. Planck, *Mein Besuch bei Adolf Hitler*, Physikalische Blätter p. 143, 1947. Cited on page 149.

110 Pictures of objects in a red hot oven and at room temperature are also shown in C. H. Bennett, *Demons, engines and the second law*, Scientific American **255**, pp. 108–117, November 1987. Cited on page 150.

111 If you want to read more on the topic, have a look at the classic text by Warren J. Smith, *Modern Optical Engineering : the Design of Optical Systems*, 3rd edition, McGraw-Hill, 2000. The main historic reference is R. Clausius, *Über die Concentration von Wärme und Lichtstrahlen und die Gränzen ihrer Wirkung*, Poggendorff's Annalen der Physik **121**, pp. 1–44, 1864. Cited on pages 151 and 213.

112 Measured values and ranges for physical quantities are collected in Horst Völz & Peter Ackermann, *Die Welt in Zahlen*, Spektrum Akademischer Verlag, 1996. Cited on page 154.

113 See, for example, K. Codling & L. J. Frasinski, *Coulomb explosion of simple molecules in intense laser fields*, Contemporary Physics **35**, pp. 243–255, 1994. Cited on page 154.

114 The standard reference on the propagation of light is Max Born & Emil Wolf, *Principles of Optics – Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light*, Pergamon Press, 6th edition, 1998. Cited on page 157.

115 E. D. Palik, *Handbook of optical constants of solids*, Academic Publishing, 1998. Cited on page 160.

116 More mirage photographs, even mirage films, can be found on www.polarimage.fi/mirages/mirages.htm and virtual.finland.fi/netcomm/news/showarticle.asp?intNWSAID=25722. Cited on page 161.

117 E. J. J. Kirchner, *De uitvinding van het telescoop in 1608: gewoon twee lenzen*, Nederlands tijdschrift voor natuurkunde 74, pp. 356–361, 2008. Cited on page 164.

118 A fascinating overview about what people have achieved in this domain up to now is given in the classic reference text by Rolf Riehker, *Fernrohre und ihre Meister*, VEB Verlag

Technik, second edition, 1990. See also by Peter Manly, *Unusual Telescopes*, Cambridge University Press, 1991, and Henry C. King, *The History of the Telescope*, Dover, 2003. Cited on page 164.

119 An introduction to the topic of the 22° halo, the 46° halo, Sun dogs, and the many other arcs and bows that can be seen around the Sun, see the beautifully illustrated paper by R. Greenler, *Lichterscheinungen, Eiskristalle und Himmelsarchäologie*, Physikalische Blätter **54**, pp. 133–139, 1998, or the book Robert Greenler, *Rainbows, Halos, and Glories*, Cambridge University Press, 1980. Cited on page 166.

120 J. Aizenberg, V.C. Sundar, A.D. Yablon, J.C. Weaver & G. Chen, *Biological glass fibers: Correlation between optical and structural properties*, Proceedings of the National Academy of Sciences **101**, pp. 3358–3363, 2004, also available online for free at www.pnas.org. Cited on page 168.

121 K. Franz & al., *Müller cells are living optical fibers in the vertebrate retina*, Proceedings of the National Academy of Sciences **104**, pp. 8287–8292, 2007. Cited on page 168.

122 A complete list of data and arguments showing that the hair of polar bears have no fibre function is found on the pages it.stlawu.edu/~koon/mar-ref.html and it.stlawu.edu/~koon/polar.html. Cited on page 168.

123 The prediction of negative refraction is due to V.G. Veselago, *The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ε and μ*, Soviet Physics Uspekhi **10**, p. 509, 1968. (The original paper in Russian is from 1967.) The explanation with different refraction directions was published by P.M. Valanju, R.M. Walser & A.P. Valanju, *Wave refraction in negative-index media: always positive and very inhomogeneous*, Physical Review Letters **88**, p. 187401, 8 May 2002. Also Fermat's principle is corrected, as explained in V.G. Veselago, *About the wording of Fermat's principle for light propagation in media with negative refraction index*, arxiv.org/abs/cond-mat/0203451. Cited on page 168.

124 The first example of material system with a negative refraction index were presented by David Smith and his team. R.A. Schelby, D.R. Smith & S. Schultz, *Experimental verification of a negative index of refraction*, Science **292**, p. 77-79, 2001. More recent examples are A.A. Houck, J.B. Brock & I.L. Chuang, *Experimental observations of a left-handed material that obeys Snell's law*, Physical Review Letters **90**, p. 137401, 2003, C.G. Parazzoli, R.B. Greegor, K. Li, B.E.C. Koltenbah & M. Tanielian, *Experimental verification and simulation of negative index of refraction using Snell's law*, Physical Review Letters **90**, p. 107401, 2003. S. Foteinopoulou, E.N. Economou & C.M. Soukoulis, *Refraction in media with a negative refractive index*, Physical Review Letters **90**, p. 107402, 2003. Cited on page 168.

125 S.A. Ramakrishna, *Physics of negative refractive index materials*, Reorts on Progress of Physics **68**, pp. 449–521, 2005. Cited on page 169.

126 J. Pendry, *Negegative refraction makes a perfect lens*, Physical Review Letters **85**, p. 3966, 2000. See also J.B. Pendry, D. Schurig & D.R. Smith, *Controlling electromagnetic fields*, Science **312**, pp. 1780–1782, 2006, and D. Schurig, J.J. Mock, B.J. Justice, S.A. Cummer, J.B. Pendry, A.F. Starr & D.R. Smith, *Metamaterial electromagnetic cloak at microwave frequencies*, Science **314**, pp. 977–980, 2006. Cited on page 169.

127 On metamaterials, see A. Lai, C. Caloz & T. Itoh, *Composite rightleft-handed transmission metamaterials*, IEEE Microwave Magazine **5**, pp. 34–50, September 2004. Cited on page 169.

128 M. Zedler & P. Russer, *Investigation on the Dispersion Relation of a 3D LC-based Metamaterial with an Omnidirectional Left-Handed Frequency Band*, 2006 International

Microwave Symposium Digest, San Francisco pp. 1477–1479, 2006. M. Zedler, C. Caloz & P. Russer, *A 3D Isotropic left-handed metamaterial based on the rotated transmission line matrix (TLM) scheme*, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques 55, pp. 2930–2941, 2007. Cited on page 170.

129 Read Grimaldi's text online at fermi.imss.fi.it/rd/bdv?/bdviewer/bid=000000300682. Cited on page 170.

130 James E. Faller & E. Joseph Wampler, *The lunar laser reflector*, Scientific American pp. 38–49, March 1970. Cited on page 170.

131 Neil Armstrong of Apollo 11, Jim Lovell of Apollo 8 and Apollo 13, and Jim Irwin of Apollo 15 extensively searched for it and then made negative statements, as told in Science News p. 423, 24 & 31 December 1994. From the space shuttle however, which circles only a few hundred kilometres above the Earth, the wall *can* be seen when the Sun is low enough such that the wall appears wider through its own shadow, as explained in Science News **149**, p. 301, 1996. Cited on page 171.

132 S. W. Hell, *Strategy for far-field optical imaging and writing without diffraction limit*, Physics Letters A **326**, pp. 140–145, 2004, see also V. Westphal & S. W. Hell, *Nanoscale resolution in the focal plane of an optical microscope*, Physical Review Letters **94**, p. 143903, 2005, and V. Westphal, J. Seeger, T. Salditt & S. W. Hell, *Stimulated emission depletion microscopy on lithographic microstructures*, Journal of Physics B **38**, pp. S695–S705, 2005. Cited on page 173.

133 M. Shih, M. Segev & G. Salamo, *Three-dimensional spiraling of interacting spatial solitons*, Physical Review Letters **78**, pp. 2551–2554, 1997. See also the more readable paper by M. Segev & G. Stegeman, *Self-trapping of optical beams: spatial solitons*, Physics Today **51**, pp. 42–48, August 1998. Cited on page 174.

134 On Talbot-Lau imaging with X-rays, see for example the paper A. Momose & al., *X-ray phase imaging: from synchrotron to hospital*, Philosophical Transanactions of the Royal Society A **372**, p. 20130023, 2014, free to read at rsta.royalsocietypublishing.org. Cited on page 175.

135 See the wonderful summary by Frank Schaeffel, *Processing of information in the human visual system*, pp. 1–33, in Alexander Hornberg, editor, *Handbook of Machine Vision*, Wiley-VCH, 2006. Cited on page 187.

136 W. H. Ehrenstein & B. Lingelbach, *Das Hermann–Gitter*, Physik in unserer Zeit **6**, pp. 263–268, 2002. The journal also shows a colour variation of these lattices. Cited on page 188.

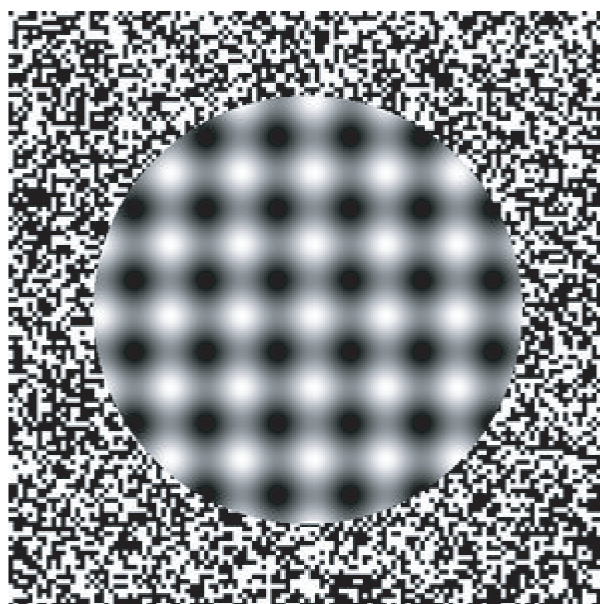
137 To enjoy many other flowers under ultraviolet illumination, go to the extensive collection at www.naturfotograf.com/index2. Cited on page 189.

138 For an example of such research, see S. A. Baccus, B. P. Olveczky, M. Manu & M. Meister, *A retinal circuit that computes object motion*, Journal of Neuroscience **28**, pp. 6807–6817, 2008. For an older review, see M. Meister & M. J. Berry, *The neural code of the retina*, Neuron **22**, pp. 435–450, 1999. Cited on page 192.

139 See for example, the summary by D. M. Berson, *Strange vision: ganglion cells as circadian photoreceptors*, Trends in Neurosciences **26**, pp. 314–320, 2003. Cited on page 192.

140 This amazing story is from the wonderful blog watchingtheworldwakeup.blogspot.de/2008/11/mountain-biking-moonlight-color-vision.html – a blog that shows what passion for nature is. Cited on page 194.

141 The eye sensitivity myth is debunked in detail by B. H. Soffer & D. K. Lynch, *Some paradoxes, errors, and resolutions concerning the spectral optimization of human vision*,



HÌNH 194 Ảo thị chuyển động Ouchi.

American Journal of Physics **67**, pp. 946–953, 1999. Cited on page 194.

142 A. Brückner, J. Duparré, F. Wippermann, R. Leitel, P. Dannberg & A. Bräuer, *Ultra-compact close-up microoptical imaging system*, **Proceedings of the SPIE, 7786**, p. 77860A, 2010. Cited on page 194.

143 David R. Williams, *Supernormal Vision*, Science News **152**, pp. 312–313, 15 November 1997. See also aria.cvs.rochester.edu/team/williams_d/ as well as the photographs at roorda.vision.berkeley.edu/ of the interior of living human eyes. Their last publication is A. Roorda, A. Metha, P. Lennie & D. R. Williams, *Packing arrangement of the three cone classes in the primate retina*, Vision Research **41**, pp. 1291–1306, 2001. Cited on page 198.

144 D. Hillmann, H. Spahr, C. Pfäffle, H. Sudkamp, G. Franke & G. Hüttmann, *In vivo optical imaging of physiological responses to photostimulation in human photoreceptors*, Proceedings of the National Academy of Sciences (USA) **113**, pp. 13138–13143, 2016. Cited on page 199.

145 See, for example, the beautiful book by Simon Ings, *Das Auge - Meisterstück der Evolution*, Hoffmann & Campe, 2008. On the limitations of the eye, see Thomas Ditzinger, *Illusionen des Sehens: Eine Reise in die Welt der visuellen Wahrnehmung*, Südwest, 1998, which includes the fascinating *Ouchi illusion* shown in Hình 194. Cited on page 199.

146 This happened to Giovanni Bellini (b. *c.* 1430 Venice, d. 1516 Venice) the great Renaissance painter, who even put this experience into writing, thus producing one of the greatest 'gaffes' ever. If you take a photograph of the effect with a remotely controlled camera, you can prove that your camera is holy as well. Cited on page 200.

147 S. R. Wilk, *How retroreflectors really work*, Optics & Photonics News, pp. 6–7, December 1993. Cited on page 200.

148 G. G. P. van Gorkum, *Introduction to Zeus displays*, Philips Journal of Research **50**, pp. 269–280, 1996. See also N. Lambert, E. A. Montie, T. S. Baller, G. G. P. van Gorkum, B. H. Hendriks, P. H. Trompenaars & S. T. de Zwart,

Transport and extraction in Zeus displays, Philips Journal of Research **50**, pp. 295–305, 1996. Cited on page 202.

149 Among the many papers on pit vipers, see the excellent summary by B. Schwarzschild, *Neural-network model may explain the surprisingly good infrared vision of snakes*, Physics Today pp. 18–20, September 2006; it is based on the fascinating results by A. B. Sichert, P. Friedel & J. L. van Hemmen, *Snake's perspective on heat: reconstruction of input using an imperfect detection system*, Physical Review Letters **97**, p. 068105, 2006. Cited on page 202.

150 J. Cybulski, J. Clements & M. Prakash, *Foldscope: Origami-based paper microscope*, preprint at arxiv.org/abs/1403.1211. Cited on page 204.

151 For an explanation, see S. Y. van der Werf, G. P. Können & W. H. Lehn, *Novaya Zemlya effect and sunsets*, Applied Optics **42**, pp. 367–378, 2003. Cited on page 206.

152 E. W. Streed, A. Jechow, B. G. Norton & D. Kielpinski, *Absorption imaging of a single atom*, Nature Communications, **3**, p. 933, 2012, preprint at arxiv.org/abs/1201.5280. Cited on page 206.

153 This problem was suggested by Vladimir Surdin. Cited on page 207.

154 For deviations from the geometric 'law' of reflection see M. Merano, A. Aiello, M. P. van Exter & J. P. Woerdman, *Observing angular deviations in the specular reflection of a light beam*, Nature Photonics **3**, pp. 337 – 340, 2009. See also M. Merano, A. Aiello, G. W. 't Hooft, M. P. van Exter, E. R. Eliel & J. P. Woerdman, *Observation of Goos-Hänchen shifts in metallic reflection*, Optics Express **15**, pp. 15928–15934, 2007. This beautiful research field is in need of a good review article. For a measurement of the time delay in total reflection, around 28 fs, see D. Chauvat & al., *Timing the total reflection of light*, Physics Letters A **336**, pp. 271–273, 2005. Cited on page 208.

155 Such a claim was implicitly made by D. Mugnai, A. Ranfagni & R. Ruggieri, *Observation of superluminal behaviors in wave propagation*, Physical Review Letters **84**, p. 4830, 2000. An excellent explanation and rebuttal was given by W. A. Rodrigues, D. S. Thober & A. L. Xavier, *Causal explanation for observed superluminal behavior of microwave propagation in free space*, preprint at arxiv.org/abs/physics/0012032. Cited on page 209.

156 If you want to see more on how the world looks for the different types of colour blind, have a look at the webexhibits.org/causesofcolor/2.html or the www.vischeck.com/examples web pages. Cited on page 209.

157 H. Kobayashi & S. Kohshima, *Unique morphology of the human eye*, Nature **387**, pp. 767–768, 1997. They explored 88 primate species. Cited on page 210.

158 A. N. Heard-Booth & E. C. Kirk, *The influence of maximum running speed on eye size: a test of Leuckart's law in mammals*, The Anatomical Record **295**, pp. 1053–1062, 2012. Cited on page 215.

159 Most of the world's experts in lightning are Russian. Two good books are Vladimir A. Rakov & Martin A. Uman, *Lightning: Physics and Effects*, Cambridge University Press, 2003, and Eduard M. Bazelyon & Yuri P. Raizer, *Lightning Physics and Lightning Protection*, Institute of Physics Publishing, 2000. For a simple introduction, see also the lightning section of the webiste www.nrcan-rncan.gc.ca. Cited on page 217.

160 On the life-long passion that drove Luke Howard, see the book by Richard Hamblyn, *The Invention of Clouds*, Macmillan 2001. Cited on page 217.

161 See J. Latham, *The electrification of thunderstorms*, Quartely Journal of the Royal Meteorological Society **107**, pp. 277–289, 1981. For a more recent and wider review, see Earle R. Williams, *The tripole structure of thunderstorms*, Journal of Geophysical Research **94**, pp. 13151–13167, 1989. See also the book by the National Research Council Staff, *The Earth's Electrical Environment*, Studies in Geophysics, National Academy Press, 1986. Cited on page 217.

162 The exploration of how charges are separated in clouds is a research field in its own. See, for example, the overview and literature list at enviromom.us/lightning/lightningformation.html. The precise atomic scale mechanism is not fully settled. There are two main reasons: experiments are difficult, and electrification is not fully understood in most known material systems, including the well-known process of rubbing glass rods with a fur. Cited on page 217.

163 A. V. Gurevich & K. P. Zybin, *Runaway breakdown and the mysteries of lightning*, Physics Today **58**, pp. 37–43, May 2005. Cited on page 217.

164 To learn more about atmospheric currents, you may want to have a look at the popularizing review of the US work by E. A. Bering, A. A. Few & J. R. Benbrook, *The global electric circuit*, Physics Today **51**, pp. 24–30, October 1998, or the more technical overview by E. Bering, Reviews of Geophysics (supplement) **33**, p. 845, 1995. Cited on page 220.

165 The use of Schumann resonances in the Earth–ionosphere capacitor for this research field is explained in K. Schlegel & M. Füllerkrug, *Weltweite Ortung von Blitzen*, Physik in unserer Zeit **33**, pp. 257–261, 2002. Cited on page 221.

166 J. R. Dwyer, M. A. Uman, H. K. Rassoul, M. Al-Dayeh, E. L. Caraway, J. Jerauld, V. A. Rakov, D. M. Jordan, K. J. Rambo, V. Corbin & B. Wright, *Energetic radiation produced by rocket-triggered lightning*, Science **299**, pp. 694–697, 2003. Cited on page 220.

167 J. R. Dwyer, *A fundamental limit on electric fields in air*, Geophysical Research Letters **30**, p. 2055, 2003. Cited on page 220.

168 B. M. Smirnov, *Physics of ball lightning*, Physics Reports **224**, pp. 151–236, 1993. See also D. Finkelstein & J. Rubinstein, *Ball lightning*, Physical Review **135**, pp. 390–396, 1964. For more folklore on the topic, just search the world wide web. Cited on page 222.

169 G. D. Shabanov, *The optical properties of long-lived luminous formations*, Technical Physics Letters **28**, pp. 164–166, 2002, A. I. Egorov & S. I. Stepanov, *Long-lived plasmoids produced in humid air as analogues of ball lightning*, Technical Physics **47**, pp. 1584–1586, 2002, A. E. Egorov, S. I. Stepanov & G. D. Shabanov, Physics Uspekhi *Laboratory demonstration of ball lightning*, **47**, pp. 99–101, 2004, and G. D. Shabanov & B. Yu. Sokolovskii, *Macroscopic separation of charges in a pulsed electric discharge*, Plasma Physics Reports **31**, pp. 512–518, 2005. (All these are English translations of earlier Russian papers.) See the websites biod.pnpi.spb.ru/pages_ru/Stepanov/index.html stealthtank.narod.ru, balllightning.narod.ru/hvewd.html and www.ipp.mpg.de/ippcms/eng/presse/pi/05_06_pi.html, for more details and more spectacular films. Cited on page 222.

170 G. Silva Paiva, A. C. Pavão, E. Alpes de Vasconcelos, O. Mendes & E. F. da Silva, *Production of ball-lightning-like luminous balls by electrical discharges in silicon*, Physics Review Letters **98**, p. 048501, 2007. Cited on page 222.

171 For a recent summary, see S. Parrott, arxiv.org/abs/gr-qc/9711027. See also T. A. Abbott & D. J. Griffiths, *Acceleration without radiation*, American Journal of Physics **53**, pp. 1203–1211, 1985. See also A. Kovetz & G. E. Tauber, *Radiation from*

an accelerated charge and the principle of equivalence, American Journal of Physics **37**, pp. 382–385, 1969. Cited on page 229.

172 C. de Almeida & A. Saa, *The radiation of a uniformly accelerated charge is beyond the horizon: a simple derivation*, American Journal of Physics **74**, pp. 154–158, 2006. Cited on page 229.

173 A summary on these well-known simulations is G. A. Glatzmaier, *Geodynamo simulations - how realistic are they?*, Ann. Rev. Earth Planet. Sci. **30**, pp. 237–257, 2002. A central experimental confirmation is J. Zhang, X. D. Song, Y. C. Li, P. G. Richards, X. L. Sun & F. Waldhauser, *Inner core differential motion confirmed by earthquake doublet waveform doublets*, Science **309**, pp. 1357–1360, 2005. Cited on page 224.

174 An excellent review is E. H. Brandt, *Levitation in Physics*, Science **243**, pp. 349–355, 1989. Cited on pages 225 and 229.

175 See the article by R. Tuckermann, S. Bauerecker & B. Neidhart, *Levitation in Ultraschallfeldern – Schwebende Tröpfchen*, Physik in unserer Zeit **32**, pp. 69–75, February 2001. Liquid drops up to 1 g have been levitated in this way. Cited on page 225.

176 F. C. Moon & P. Z. Chang, *Superconducting Levitation – Applications to Bearings and Magnetic Transportation*, Wiley & Sons, 1994. Cited on pages 225 and 229.

177 W. T. Scott, *Who was Earnshaw?*, American Journal of Physics **27**, pp. 418–419, 1959. Cited on page 226.

178 The trick is to show that $\operatorname{div} \boldsymbol{E} = 0$, $\operatorname{curl} \boldsymbol{E} = 0$, thus $E\nabla^2 E = 0$ and, from this, $\nabla^2 E^2 \geqslant 0$; there are thus no local electric field maxima in the absence of free charges. The same proof works for the magnetic field. However, bodies with dielectric constants *lower* than their environment *can* be levitated in static electric fields. An example is gas bubbles in liquids, as shown by T. B. Jones & G. W. Bliss, *Bubble dielectrophoresis*, Journal of Applied Physics **48**, pp. 1412–1417, 1977. Cited on page 226.

179 B. Scharlau, V. Nordmeier & H. J. Schlichting, *Magnetische Levitation*, in Deutsche Physikalische Gesellschaft, (editor) *Didaktik der Physik*, Lehmanns, 2003. Cited on pages 227 and 228.

180 See A. K. Geim, M. D. Simon, M. I. Boamfa & L. O. Heflinger, *Magnet levitation at your fingertips*, Nature **400**, pp. 323–324, 1999. Cited on page 228.

181 The first photographs of a single *ion* were in W. Neuhauser, M. Hohenstatt, P. E. Toschek & H. Dehmelt, *Localized visible* Ba^+ *mono-ion oscillator*, Physical Review A **22**, pp. 1137–1140, 1980. See also D. J. Wineland & W. M. Itano, Physics Letters A **82**, p. 75, 1981, as well as F. Dietrich & H. Walter, Physical Review Letters **58**, p. 203, 1987.

For single *atoms*, see photographs in Z. Hu & H. J. Kimble, Optics Letters **1**, p. 1888, 1994, F. Ruschewitz, D. Bettermann, J. L. Peng & W. Ertmer, Europhysics Letters **34**, p. 651, 1996, D. Haubrich, H. Schadwinkel, F. Strauch, B. Ueberholz, R. Wynands & D. Meschede, Europhysics Letters **34**, p. 663, 1996. Cited on page 228.

182 See for example Mark Buchanan, *And God said...let there be levitating strawberries, flying frogs and humans that hover over Seattle*, New Scientist pp. 42–43, 26 July 1997, or C. Wu, *Floating frogs*, Science News **152**, pp. 632–363, 6 December 1997, and C. Wu, *Molecular magnetism takes off*, Physics World April 1997, page 28. The experiments by Andre Geim, Jan Kees Maan, Humberto Carmona and Peter Main were made public by P. Rodgers, Physics World **10**, p. 28, 1997. Some of the results can be found in M. V. Berry & A. K. Geim, *Of flying frogs and levitrons*, European Journal of Physics **18**,

pp. 307–313, 1997. See also their www.ru.nl/hfml/research/levitation/ website. Cited on page 229.

183 The well-known toy allows levitation without the use of any energy source and is called the 'Levitron'. It was *not* invented by Bill Hones of Fascination Toys & Gifts in Seattle, as the www.levitron.com website explains. The toy is discussed by Ron Edge, *Levitation using only permanent magnets*, Physics Teacher **33**, p. 252, April 1995. It is also discussed in M. V. Berry, *The Levitron™: an adiabatic trap for spins*, Proceedings of the Royal Society A **452**, pp. 1207–1220, 1996, (of Berry's phase fame) as well as by M. D. Simon, L. O. Heflinger & S. L. Ridgeway, *Spin stabilized magnetic levitation*, American Journal of Physics **65**, pp. 286–92, 1997, and by T. B. Jones, M. Washizu & R. Gans, *Simple theory for the Levitron*, Journal of Applied Physics **82**, pp. 883–889, 1997. Cited on page 229.

184 The drill trick and the building of a Levitron are described in the beautiful lecture script by Josef Zweck, *Physik im Alltag*, Skript zur Vorlesung im WS 1999/2000 der Universität Regensburg. Cited on page 229.

185 The prediction about quantized levitation is by Stephen B. Haley, *Length quantization in levitation of magnetic microparticles by a mesoscopic superconducting ring*, Physical Review Letters **74**, pp. 3261–3264, 1995. The topic is discussed in more detail in Stephen B. Haley, *Magnetic levitation, suspension, and superconductivity: macroscopic and mesoscopic*, Physical Review B **53**, p. 3506, 1996, reversed in order with Stephen B. Haley, *Quantized levitation of superconducting multiple-ring systems*, Physical Review B **53**, p. 3497, 1996, as well as Stephen B. Haley, *Quantized levitation by multiply-connected superconductors*, LT-21 Proceedings, in Czechoslovak Journal of Physics **46**, p. 2331, 1996. In 1998, there was not yet an experimental confirmation (Stephen Haley, private communication). Cited on page 229.

186 Detailed descriptions of many of these effects can be found in the excellent overview edited by Manfred von Ardenne, Gerhard Musiol & Siegfried Reball, *Effekte der Physik und ihre Anwendungen*, Harri Deutsch, 2004. Cited on page 230.

187 R. Buddakian, K. Weninger, R. A. Hiller & Seth J. Putterman, *Picosecond discharges and stick–slip friction at a moving meniscus of mercury in glass*, Nature **391**, pp. 266–268, 15 January 1998. See also Science News **153**, p. 53, 24 January 1998. Cited on page 230.

188 Henk Swagten & Reinder Coehoorn, *Magnetische tunneljuncties*, Nederlands tijdschrift voor natuurkunde **64**, pp. 279–283, November 1998. Cited on page 231.

189 H. Ohno, D. Chiba, F. Matsukura, T. Omiya, E. Abe, T. Dietl, Y. Ohno & K. Ohtani, *Electric-field control of ferromagnetism*, Nature **408**, pp. 944–946, 21-28 December 2000. Cited on page 231.

190 This effect was discovered by G. Rikken, B. van Tiggelen & A. Sparenberg, *Lichtverstrooiing in een magneetveld*, Nederlands tijdschrift voor natuurkunde **63**, pp. 67–70, maart 1998. Cited on page 233.

191 Vitalij Pecharsky & Karl A. Gschneidner, *Giant magnetocaloric effect in Gd5(Si2Ge2)*, Physical Review Letters **78**, pp. 4494–4497, 1995, and, from the same authors, *Tunable magnetic regenerator alloys with a giant magnetocaloric effect for magnetic refrigeration from ~20 to ~*2990 K, Applied Physics Letters **70**, p. 3299, 1997. Cited on page 233.

192 J. Weissmüller, R. N. Viswanath, D. Kramer, P. Zimmer, R. Würschum & H. Gleiter, *Charge-induced reversible strain in a metal*, Science **300**, pp. 312–315, 11 April 2003. Cited on page 234.

193 A. Ajdari, *Electro-osmosis on inhomogeneously charged surfaces*, Physical Review Letters **75**, pp. 755–758, 1995. Cited on page 234.

194 This effect was discovered by J.N. Huiberts, R. Griessen, J.H. Rector, R.J. Wijngarden, J.P. Dekker, D.G. de Groot & N.J. Koeman, *Yttrium and lanthanum hydride films with switchable optical properties*, Nature **380**, pp. 231–234, 1996. A good introduction is R. Griessen, *Schaltbare Spiegel aus Metallhydriden*, Physikalische Blätter **53**, pp. 1207–1209, 1997. Cited on page 235.

195 M.J. Aitken, *Thermoluminescence Dating*, Academic Press, 1985. The precision of the method is far worse that C14 dating, however, as shown by H. Huppertz, *Thermolumineszenzdatierung: eine methodologische Analyse aufgrund gesicherter Befunde*, Peter Lang Verlag, 2000. Cited on page 236.

196 See any book on thermostatics, such as Linda Reichl, *A Modern Course in Statistical Physics*, Wiley, 2nd edition, 1998. Cited on page 238.

197 The Sun emits about $4 \cdot 10^{26}$ W from its mass of $2 \cdot 10^{30}$ kg, about 0.2 mW/kg; a person with an average mass of 75 kg emits about 100 W (you can check this in bed at night), i.e., about 500 times more. Cited on page 238.

198 See for example, J. M. Aguirregabiria, A. Hernandez & M. Rivas, *Velocity fields inside a conducting sphere near a slowly moving charge*, American Journal of Physics **62**, pp. 462–466, 1994. Cited on page 239.

199 This example of electrohydrodynamics was discovered in the 1890s and was explored in detail since. Numerous videos about the phenomenon can be found on the internet, including on the beautiful page at ecfuchs.com/?page=waterbridge, which also includes a literature list. Recent papers are E. C. Fuchs, M. Sammer, A. D. Wexler, P. Kuntke & J. Woisetschläger, *A floating water bridge produces water with excess charge*, Journal of Physics D: Applied Physics **49**, p. 125502, 2016, and A. G. Marín & D. Lohse, *Building water bridges in air: electrohydrodynamics of the floating water bridge*, preprint at arxiv.org/abs/1010.4019. Cited on page 241.

200 Philip Cohen, *Open wide, this won't hurt a bit*, New Scientist p. 5, 3 February 1996. Cited on page 239.

201 For a reference list on bone piezoelectricity, see the website silver.neep.wisc.edu/~lakes/BoneElectr.html. Cited on page 241.

202 J.E. Avron, E. Berg, D. Goldsmith & A. Gordon, *Is the number of photons a classical invariant?*, European Journal of Physics **20**, pp. 153–159, 1999. Cited on page 241.

203 This is deduced from the $g - 2$ measurements, as explained in his Nobel Prize talk by Hans Dehmelt, *Experiments with an isolated subatomic particle at rest*, Reviews of Modern Physics **62**, pp. 525–530, 1990, and in Hans Dehmelt, *Is the electron a composite particle?*, Hyperfine Interactions **81**, pp. 1–3, 1993. Cited on page 242.

204 A good and short introduction is the paper F. Rohrlich, *The self-force and radiation reaction*, American Journal of Physics **68**, pp. 1109–1112, 2000. Cited on page 243.

205 Distinguishing between the thought 'yes' and 'no' is already possible with a simple electroencephalogram. For a video demonstration of the differentaiation of concepts using brain imaging techniques, see www.youtube.com/watch?v=JVLu5_hvr8s. Cited on page 244.

206 C. G. Tsagas, *Magnetic tension and the geometry of the universe*, Physical Review Letters **86**, pp. 5421–5424, 2001. An overview of the topic is C. G. Tsagas, *Geometrical aspects of cosmic magnetic fields*, arxiv.org/abs/gr-qc/0112077. Cited on page 246.

207 A. D. Erlykin & A. W. Wolfendale, *The origin of cosmic rays*, European Journal of Physics **20**, pp. 409–418, 1999, Cited on page 250.

208 See for example the beautiful textbook Stephen C. Stearns & Rolf F. Hoekstra, *Evolution: An Introduction*, Oxford University Press, 2000. For a fascinating story of evolution for non-specialists, see Richard Fortey, *Life – An Unauthorized Biography*, Harper Collins, 1997, or also Menno Schilthuizen, *Frogs, Flies & Dandelions – the Making of Species*, Oxford University Press, 2001. See also Stephen J. Gould, *The Panda's thumb*, W.W. Norton & Co., 1980, one of the several interesting and informative books on evolutionary biology by the best writer in the field. An informative overview over the results of evolution, with the many-branched family tree that it produced, is given on the phylogeny.arizona.edu/tree website. About the results of evolution for human beings, see the informative text by K. Kusch & S. Kusch, *Der Mensch in Zahlen*, Spektrum Akademischer Verlag, 2nd edn., 2000. The epochal work by Charles Darwin, *On the Origin of Species*, can be found on the web, e.g. on on the darwin-online.org.uk websites. Cited on page 253.

209 A simple description is Malcolm Ross Macdonald, *The Origin of Johnny*, Jonathan Cape, 1976. See also Bas Haring, *Kaas en de evolutietheorie*, Houtekiet, 2001. Cited on page 253.

210 Richard Bandler, *Using Your Brain for a Change*, Real People Press, p. 18, 1985. Cited on page 254.

211 There is disagreement among experts about the precise timing of this experience. Some say that only birth itself is that moment. However, there are several standard methods to recall memories of early life, even of the time before birth. One is by Norbert J. Mayer, *Der Kainkomplex – neue Wege der systemischen Familientherapie*, Integral Verlag, 1998. Cited on page 254.

212 Sanjida O'Connell, *Mindreading – How We Learn to Love and Lie*, Arrow, 1998. This interesting book describes the importance of *lying* in the development of a human being, and explains the troubles of those people who cannot read other minds and thus cannot lie, such as autists. Cited on pages 255 and 304.

213 The approach to describe observations as related parts is called *structuralism*; the starting point for this movement was de Saussure's *Cours de linguistique générale* (see the footnote on Trang 276). A number of thinkers have tried to use the same approach in philosophy, mythology and literature theory, though with little success. An overview of the (modest) success of structuralism in linguistics and its failure in other fields is given by L. Jackson, *The Poverty of Structuralism: Literature and Structuralist Theory*, Longman, 1991. The author argues that when one reduces systems to interactions, one neglects the specific content and properties of the elements of the system, and this approach prevents a full understanding of the system under discussion. Cited on page 255.

214 For a view of the mental abilities different from that of Piaget (described on Trang 256), a presently much discussed author is the Soviet experimental psychologist Lev Vigotsky, whose path-breaking ideas and complicated life are described, e.g., in Lev Vigotsky, *Mind in Society*, Harvard University Press, 1978, or in René van der Veer & Jaan Valsiner, *Understanding Vigotsky: a Quest for Synthesis*, Blackwell Publishers, 1994. More extensive material can be found in the extensive work by René van der Veer & Jaan Valsinger, *The Vigotsky Reader*, Blackwell, 1994. Cited on page 256.

215 A somewhat unconventional source for more details is the beautiful text by Bruno Bettelheim, *The Uses of Enchantment: the Meaning and Importance of Fairy Tales*, Knopf, 1976. Cited on page 256.

216 A simple introduction is MANFRED SPITZER, *Lernen – Gehirnforschung und Schule des Lebens*, Elsevier, 2007. Cited on page 259.

217 See the beautiful textbook by MARTIN TREPEL, *Neuroanatomie: Struktur und Funktion*, Urban & Fischer, 5th edition, 2012. It also shows the parts of the brain dedicated to motion planing and control. Cited on page 259.

218 Quoted in V. HARLEN, R. RAPPMANN & P. SCHATA, *Soziale Plastik – Materialien zu Joseph Beuys*, Achberger Verlag, 1984, p. 61. Cited on page 259.

219 The problems appearing when one loses the ability to classify or to memorise are told in the beautiful book by the neurologist OLIVER SACKS, *The Man Who Mistook His Wife for a Hat*, Picador, 1985, which collects many case studies he encountered in his work. More astonishing cases are collected in his equally impressive text *An Anthropologist on Mars*, Picador, 1995.

See also the beautiful text DONALD D. HOFFMAN, *Visual Intelligence – How We Create What We See*, W.W. Norton & Co., 1998, and the www.cogsci.uci.edu/~ddhoff website associated to it. Cited on pages 259 and 265.

220 For a passionate introduction to the connections between language and the brain from a Chomskian perspective, see the bestselling book by STEVEN PINKER, *The Language Instinct – How the Mind Creates Language*, Harper Perennial, 1994. The green idea sentence is discussed in a chapter of the book. Cited on pages 259, 309, and 329.

221 An introduction to neurology is JOSEPH LEDOUX, *Synaptic Self: How Our Brains Become Who We Are*, Viking Press, 2002. Cited on page 260.

222 Another good introduction into the study of classifiers is JAMES A. ANDERSON, *An Introduction to Neural Networks*, MIT Press, 1995. An introduction to computer science is given in J. GLENN BROOKSHEAR, *Computer Science, An Overview*, 6th edition, Addison Wesley, 2000, or in RICK DECKER & STUART HIRSHFIELD, *The Analytical Engine: An Introduction to Computer Science Using the Internet*, Brooks/Cole Publishers, 1998. Cited on page 260.

223 An overview of the status of the research into the origin of bipedalism is given by B. WOOD, *Four legs good, two legs better*, Nature **363**, pp. 587–588, 17 June 1983. Cited on page 260.

224 A good introduction to neural nets is J. HERTZ, A. KROGH & R. PALMER, *Introduction to the Theory of Neural Computation*, Addison Wesley, 1991. Cited on page 261.

225 Quoted from H. EVES, *Mathematical Circles Squared*, Prindle, Weber and Schmidt, 1972. Cited on page 263.

226 K. BAUMGÄRTEL, D. GENOUX, H. WELZL, R.Y. TWEEDIE-CULLEN, K. KOSHIBU, M. LIVINGSTONE-ZATCHEJ, C. MAMIE & I. M. MANSUY, *Control of the establishment of aversive memory by calcineurin and Zif268*, Nature Neuroscience **11**, pp. 572–578, 2008. Cited on page 265.

227 More about the connection between entropy and computers can be found in the classic paper by R. LANDAUER, *Irreversibility and heat generation in the computing process*, IBM Journal of Research and Development **5**, pp. 183–191, 1961, and in C.H. BENNETT & R. LANDAUER, *The fundamental physical limits of computation*, Scientific American **253**, pp. 48–56, 1985. Cited on page 267.

228 W.H. ZUREK, *Thermodynamic cost of computation, algorithmic complexity and the information metric*, Nature **341**, pp. 119–124, 14 August 1989. Cited on page 267.

229 L. SZILARD, *Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen*, Zeitschrift für Physik **53**, p. 840, 1929. This classic paper can

also be found in English translation in the collected works by Leo Szilard. Cited on page 267.

230 J. J. Hopfield, Nature **376**, pp. 33–36, 1995. This paper by one of the fathers of the field presents one possibility by which the *timing* of nerve signals, instead of the usually assumed firing frequency, could also carry information. Cited on page 267.

231 The details of the properties of the firing patterns of neurons are nicely described in the article by M. Mahowald & R. Douglas, *A silicon neuron*, Nature **354**, pp. 515–518, 19/26 December 1991, in which they show how to simulate a neuron's electrical behaviour using a silicon circuit. Cited on page 267.

232 A. Mechelli, J. T. Crinion, U. Noppeney, J. O'Doberty, J. Ashburner, R. S. Frackowiak & C. J. Price, *Neurolinguistics: structural plasticity in the bilingual brain*, Nature **431**, p. 757, 2004. Cited on page 268.

233 The discussion whether the brain is or is not superior to a computer is nicely summarised by G. Vollmer, *Algorithmen, Gehirne, Computer – Was sie können und was sie nicht können, Teil I und Teil II*, Naturwissenschaften **78**, p. 481, 1991, and **78**, pp. 533–542, 1991. Cited on page 269.

234 T. Seidel, *The role of student characteristics in studying micro teaching-learning environments*, Learning Environments Research **9**, pp. 253–257, 2006. Cited on page 270.

235 For an introduction, see K. Amunts & al., *BigBrain: an ultrahigh-resolution 3d human brain model*, Science **340**, pp. 1472–1475, 2013. Cited on page 270.

236 The results with children are due to Niels Birbaumer, those for stage performers to Boris Kleber, both at the Universität Tübingen. More information is found on www.dgbfb.de and on applied-neuroscienc.org. Cited on page 271.

237 J. T. Choi & A. J. Bastian, *Adaptation reveals independent control networks for human walking*, Nature Neuroscience **10**, pp. 1055–1062, 2007. Cited on page 271.

238 An entertaining introduction into the importance of the intestine and the enteric nervous system is Giulia Enders, *Darm mit Charme*, Ullstein, 2014. It is well worth reading and contains many interesting references. Cited on page 271.

239 On this aspect of sleep research, see J. Mayer, H. G. Schuster, J. Ch. Claussen & M. Mölle, *Corticothalamic projections control synchronization in locally coupled bistable thalamic oscillators*, Physical Review Letters **99**, p. 068102, 2007. Cited on page 272.

240 The most famous discussion on the topic is the one summarized by J. Maddox, J. Randi & W. W. Stewart, *"High-dilution"experiments a delusion*, Nature **334**, pp. 287–290, 1988. In particular, it was shown that two researchers on the team were paid by a company with interest in spreading the delusion.

The clear animations at www.physik.fu-berlin.de/en/einrichtungen/ag/ag-netz/movies/water_dynamics/ visualize the structure of liquid water and the motion of its molecules. Cited on page 273.

241 A. Louveau, I. Smirnov, T. J. Keyes, J. D. Eccles, S. J. Rouhani, J. D. Peske, N. C. Derecki, D. Castle, J. W. Mandell, K. S. Lee, T. H. Harris & J. Kipnis, *Structural and functional features of central nervous system lymphatic vessels*, Nature **523**, pp. 337–341, 2015. Cited on page 274.

242 E. Kropff, J. E. Carmichael, M. -B. Moser & E. I. Moser, *Speed cells in the medial entorhinal cortex*, Nature **523**, pp. 419–424, 2015. Cited on page 274.

243 K. S. Kassam, A. R. Markey, V. L. Cherkassky, G. Loewenstein & M. A. Just, *Identifying emotions on the basis of neural activation*, PLoS One **8**, p. e66032, 2013, freely available at www.plosone.org. Cited on page 274.

244 For slightly different definitions and a wealth of other interesting information about language, see the beautiful book by David Crystal, *The Cambridge Encyclopedia of Language*, Cambridge University Press, 1987. Cited on page 276.

245 However, the language with the largest available dictionary is Dutch, with the 40 volumes of the *Wordenboek der Nederlandsche Taal*, which appeared between 1864 and 1998. It has almost 400 000 entries. Cited on page 278.

246 The list and the remark on discovery on concepts is due to a personal communication from Anna Wierzbicka. A longer list is published in her book *Semantics, Primes and Universals*, Oxford University Press, 1996. Cited on pages 279 and 301.

247 W. S. Hatcher, *Foundations of Mathematics*, W.B. Saunders Co., 1968. There is also the article by P. J. Cohen & R. Hersch, *Non-Cantorian set theory*, Scientific American **217**, pp. 104–116, 1967. Cohen was the mathematician who in 1963 proved that the negation of the continuum hypothesis could be added to the axioms of set theory and still produce a consistent theory; he calls such sets *non-Cantorian*. Cited on page 285.

248 See the beautiful article by I. Stewart, *Fair shares for all*, New Scientist, pp. 42–46, 17 June 1995. Cited on page 286.

249 Many results on infinity are summarized in the excellent and delightful paperback by Rudy Rucker, *Infinity and the Mind – the Science and Philosophy of the Infinite*, Bantam, 1983. Cited on page 288.

250 The proof of the independence of the continuum hypothesis came in two parts. First, Kurt Gödel proved in 1940 that an axiom can be consistently added to ZFC set theory so that the continuum hypothesis is correct. Then, in 1963, Paul Cohen proved that an axiom can be consistently added to ZFC set theory so that the continuum hypothesis is false. Cited on page 288.

251 The strange world of category theory, sometimes called the abstraction of all abstractions, is presented in F. William Lawvere & Stephen H. Schanuel, *Conceptual Mathematics: a First Introduction to Categories*, Cambridge University Press, 1997. Cited on page 289.

252 This general division of mathematics is nicely explained in the text by Pierre Basieux, *Die Architektur der Mathematik – Denken in Strukturen*, Rororo, 2000. Cited on page 290.

253 Umberto Pelizzari, *L'homme et la mer*, Flammarion, 1994. No citations.

254 The issue is treated in Thomas Aquinas, *Summa Theologica*, in question 52 of the first part. The complete text, several thousand pages, can be found on the www.newadvent.org website. We come back to it in the part on quantum theory, in the section on the Pauli exclusion principle. It seems that the whole question goes back to Peter (the) Lombard, *Liber Sententiarum c.* 1150. Cited on page 291.

Quyển IV, trang 137

255 B. C. Gallivan, *How to fold paper in half twelve times: an "impossible challenge" solved and explained*, Historical Society of Pomona Valley, 2002, also found at www.osb.net/Pomona/12times.htm. See also www.sciencenews.org/20040124/mathtrek.asp. Cited on page 291.

256 I. Stewart, *Daisy, daisy, give me your answer, do*, Scientific American, pp. 76–79, January 1995. This pedagogical article explains how the growth of plants usually leads to flowers whose number of petals is from the Fibonacci series 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, etc. (The figure on Trang 246 gives a few examples.) Deviations from this ideal case

are also explained. The original work are two articles by S. Douady & Y. Couder, *La physique des spirales végétales*, La Recherche 24, pp. 26–36, 1993, and *Phyllotaxis as a self-organized growth process*, in *Growth Patterns in Physical Sciences and Biology*, edited by J.M. Garcia-Ruiz & al., Plenum Press, 1993. Despite this and many other publications on the Fibonacci series, the argument on Trang 297 shows that most of these papers are based on sand. Cited on pages 291, 297, and 298.

257 H. Davson, *The Eye*, Academic Press, 1962. Cited on pages 264 and 291.

258 See the akbar.marlboro.edu/~mahoney/cube/NxN.txt website. Cited on page 291.

259 An introduction to the surreal numbers is given by the article by Polly Shulman, *Infinity plus one, and other surreal numbers*, Discover, pp. 99–105, December 1995. There is also the text by D. Knuth, *Surreal Numbers: How two ex-Students Turned on to Pure Mathematics and Found Total Happiness*, Addison Wesley, 1974, or www-cs-faculty.stanford.edu/~knuth/sn.html. The usually quoted references on the topic include John H. Conway, *On Numbers and Games*, Academic Press, 1976, E.R. Berlekamp, J.H. Conway & R.K. Guy, *Winning Ways for Your Mathematical Plays, Volume I: Games in General*, Academic Press, 1982, and H. Gonshor, *An Introduction to Surreal Numbers*, Cambridge University Press, 1986. Cited on pages 292 and 294.

260 This beautiful problem is discussed by Ian Stewart, *A bundling fool beats the wrap*, Scientific American, pp. 109–111, June 1993. In four dimensions, the answer is known to lie somewhere between 50 000 and 100 000, whereas the five-dimensional answer is conjectured to be 'never'. Cited on page 294.

261 Alfred Tarski, *Introduction to Modern Logic*, Dover, 1946. See also the famous children's book by the mathematician and photographer Lewis Carroll, *Alice in Wonderland*. Cited on page 282.

262 A. Pais, *Niels Bohr's Times: in Physics, Philosophy, and Polity*, Oxford University Press, 1991, page 176. Cited on page 295.

263 Eugene Wigner, *Symmetries and Reflections*, Indiana University Press, 1962. Cited on page 295.

264 Göran Wikell, *The layout of digits on pushbutton telephones – a review of the literature*, Tele 34, pp. 34–42, 1982. Cited on page 297.

265 A clear overview of philosophy of science, often called *epistemology*, without unnecessary detail, is given by Robert Blanché, *L'Epistémologie*, Presses Universitaires de France, 1972. Cited on page 299.

266 About the different aspects of falsifiability of general statements it is commonplace to cite the work by the epitemologist Karl Popper (b. 1902 Vienna, d. 1994 London), especially his long and boring book *Logik der Forschung*, first published in 1934. The reason for this boredom is that Popper's work is simply a warming-up of Pierre Duhem's ideas. Cited on page 305.

267 For a good way of making blood that liquefies, see L. Garlaschelli, F. Ramaccini & S. Della Scala, *Working bloody miracles*, Nature 353, p. 507, 1991. The *Grand dictionnaire universel du XIXe siècle*, by Pierre Larousse, also contains a recipe; it was again shown to the public in the 1980s by Henri Broch. A wonderful and classic text is Harry Houdini, *Miracle Mongers and their Methods*, Prometheus Books, Buffalo, 1981. The original, written in 1920, by the world famous magician named 'The Great Houdini', is also available on the etext.lib.virginia.edu/toc/modeng/public/HouMirM.html website. The milk drinking Indian statues were common around the world in 1994 and 1995. About healers, see James Randi, *Flim-flam!*, Prometheus Books, Buffalo, New York, 1987, and

the exquisite book by Hans Conrad Zander, *Warum ich Jesus nicht leiden kann*, Rowohlt, 1994. Cited on page 306.

268 John Horgan, *The End of Science – Facing the Limits of Knowledge in the Twilight of the Scientific Age*, Broadway Books, 1997, pp. 31–32, and chapter 2, note 2. Cited on pages 308 and 327.

269 For an opinion completely contrary to the one described here, see the book by Gregory J. Chaitin, *The Limits of Mathematics*, Springer Verlag, 1997, which can also be found on the author's website at www.cs.auckland.ac.nz/CDMTCS/chaitin/lm.html, along with his other works. Chaitin has devoted most of his life to the questions discussed in the section, especially on computability. Cited on page 309.

270 See the book by J. Barwise & J. Etchemendy, *The Liar*, Oxford University Press, New York, 1987. Cited on page 309.

271 Demosthenes, *Third Olynthiac*, section 19. Cited on page 310.

272 This definition (statement 4.11) and many other statements about science are in the beautiful and rightly famous text by Ludwig Wittgenstein, *Tractatus logico-philosophicus*, Edition Suhrkamp, 1963. It gives a condensed summary of the basis of science, thought and language in a collection of highly structured and numbered sentences. Cited on pages 315 and 320.

273 See M. Dresden, *The Klopsteg memorial lecture*, American Journal of Physics **66**, pp. 468–482, 1998. Cited on page 316.

274 Well-known books are e.g. Friedrich Kohlrausch, *Praktische Physik*, Teubner, 24. Auflage, 1996. Cited on page 315.

275 Results are described e.g. in L. Bergmann & C. Schäfer, *Lehrbuch der Experimentalphysik*, Band I, II, III und IV, W. de Gruyter. Cited on page 315.

276 Landolt-Börnstein, edited by K.-H. Hellwege & O. Madelung, *Zahlenwerte und Funktionen aus Naturwissenschaften und Technik*, Neue Serie, Springer Verlag, Berlin, 1984. This series of more than one hundred volumes contains all important observations in the domain of physics. Cited on page 315.

277 The origin of this incorrect attribution is the book by Gerhard Szczesny, *Brecht, Leben des Galilei – Dichtung und Wirklichkeit*, Ullstein, Berlin 1966, p. 6. The statement has never been made by Galilei; this issue has been discussed at length in specialist circles, e.g. by F. Kleinert, *"Messen was meßbar ist" - Über ein angebliches Galilei-Zitat*, Berichte zur Wissenschaftgeschichte **11**, p. 221, 1988, or on the internet by Peter Jaencke. Cited on page 315.

278 The strange and sometimes dangerous consequences of beliefs can be found e.g. in Martin Gardner, *Fads and Fallacies*, Dover, 1957, and in James Randi, *Faith Healers*, Prometheus Books, 1989. The million dollar prize for showing any paranormal or supernormal effect is available from his www.randi.org website. Cited on page 321.

279 See the nice collection of cranks on the www.crank.net website. Cited on page 321.

280 It is interesting to observe that most modern theologians, in the age of the internet, avoid to repeat these old and incorrect beliefs and to put them online. Cited on page 322.

281 The opposite view on the emergence of properties is strongly defended in the book by Robert Laughlin, *A Different Universe: Reinventing Physics from the Botton Down* Basic Books, 2005, or by P. Jensen, *Particle physics and our everyday world*, Physics Today pp. 58–59, July 1998. Their convictions are worth being pondered. Cited on page 322.

282 See page 133 of the bibliography by John Bowlby, *Charles Darwin*, Pimlico, 1991. Cited on page 322.

283 Roger Penrose, *The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe*, Jonathan Cape, 2004, page 378. Cited on page 326.

284 A beautiful introduction to Greek philosophy is Eduard Zeller, *Outlines of the History of Greek Philosophy*, Dover, 1980, a reprint of a book published in 1928. Among others, it gives a clear exposition of the philosophy of Democritus and the other presocratics. Cited on page 327.

285 The famous quote is found at the beginning of chapter XI, 'The Physical Universe', in Arthur Eddington, *The Philosophy of Physical Science*, Cambridge, 1939. Cited on page 327.

286 Giuseppe Fumagalli, *Chi l'ha detto?*, Hoepli, Milano, 1983. Cited on page 329.

287 See Jean-Paul Dumont, *Les écoles présocratiques*, Folio Essais, Gallimard, p. 653, 1991. Cited on page 329.

288 For a beautiful text on fractals, see Heinz-Otto Peitgen, Hartmut Jürgens & Dietmar Saupe, *Fractals for the Classroom*, Springer Verlag, 1992, pp. 232–245. It is also available in several other languages. Cited on page 331.

289 As has been pointed out by René Descartes. Cited on page 334.

290 The famous carbon ^{12}C resonance was found by Willy Fowler, as described in E. Margaret Burbridge, G. R. Burbridge, W. A. Fowler & F. Hoyle, *Synthesis of the elements in stars*, Reviews of Modern Physics **29**, pp. 547–560, 1957. Cited on page 336.

291 An extensive overview of the topic is given in the thick book by John D. Barrow & Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford University Press, 1986. The term itself is due to Brandon Carter, who coined it in 1973 and presented it in a symposium devoted to the 500th anniversary of Nicolaus Copernicus. For more literature, see Yuri I. Balashov, *Resource Letter AP-1: the anthropic principle*, American Journal of Physics **59**, pp. 1069–1076, 1991. Cited on page 337.

292 Voltaire, *Candide ou l'optimisme*, 1759. See also the footnote on Trang 255 in volume I. The book is so good that it was still being seized by the US customs in 1930, and the US post office refused to transport it as late as 1944. For more details, search for 'banned books online' on the world-wide web. Cited on page 338.

293 The number of books on consciousness is large and the contents not always interesting, and often not based on fact, as shown by Karl R. Popper & John Eccles, *The Self and its Brain – an Argument for Interactionism*, Rutledge, 1993. Cited on page 338.

294 See e.g. the *Encyclopedia Britannica*, Macropaedia, in the entry on animal behaviour. Cited on page 339.

295 A straight and informative introduction to the work and ideas of Joseph Beuys (in German) is by Renate Georgi, *Joseph Beuys*, RAAbits Kunst, Raabe Fachverlag, September 1996. Cited on page 340.

296 Two studies, one by R.P. Ebstein & al., *Dopamine D4 receptor (D4DR) exon III polymorphism associated with human personality trait of novelty seeking*, Nature Genetics **12**, pp. 78–80, January 1996, and another study by J. Benjamin & al., *Population and familial association between the D4 dopamine receptor gene and measures of novelty seeking*, Nature Genetics **12**, pp. 81–84, January 1996, found that people with a special form of the D4 dopamine receptor gene, or D4DR, are more prone to novelty seeking than people with the usual form. The D4DR gene regulates the formation of dopamine receptors, a chemical messenger in the brain that has been a candidate for some time for a substance involved in the propensity for novelty seeking. Cited on page 340.

297 See Jacques Hadamard, *The Mathematician's Mind – The Psychology of Invention in the Mathematical Field*, Princeton Science Library, 1996. For a modern perspective, see Pierre de Gennes, *Fragile Objects: Soft Matter, Hard Science, and the Thrill of Discovery*, Springer, 1996. where de Gennes criticizes certain educational systems that put too much stress on mathematics, thus destroying creativity. Cited on page 340.

298 Voltaire writes this in his *Catalogue pour la plupart des écrivains français qui ont paru dans Le Siècle de Louis XIV, pour servir à l'histoire littéraire de ce temps* (1752). Cited on page 341.

299 This is from the beautiful booklet by Bert Hellinger, *Verdichtetes*, Carl-Auer Systeme Verlag, 1996. Cited on page 341.

300 For example, one needs the courage to face envy. About this topic see the classic text by Helmut Schoeck, *Der Neid*, 1966, published in English as *Envy: A Theory of Social Behavior*, 1969. It is the standard work in the field. Cited on page 341.

301 Bill McGuire, *A Guide to the End of the World: Everything You Never Wanted to Know*, Oxford University Press, 2002. On past disasters, see introduction by Tony Hallam, *Catastrophes and Lesser Calamities – the Causes of Mass Extinctions*, Oxford University Press, 2004. Cited on page 347.

302 *Le Système International d'Unités*, Bureau International des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, Parc de Saint Cloud, 92310 Sèvres, France. All new developments concerning SI units are published in the journal *Metrologia*, edited by the same body. Showing the slow pace of an old institution, the BIPM launched a website only in 1998; it is now reachable at www.bipm.fr. See also the www.utc.fr/~tthomass/Themes/Unites/index.html website; this includes the biographies of people who gave their names to various units. The site of its British equivalent, www.npl.co.uk/npl/reference, is much better; it provides many details as well as the English-language version of the SI unit definitions. No citations.

303 The bible in the field of time measurement is the two-volume work by J. Vanier & C. Audoin, *The Quantum Physics of Atomic Frequency Standards*, Adam Hilge, 1989. A popular account is Tony Jones, *Splitting the Second*, Institute of Physics Publishing, 2000.

The site opdafl.obspm.fr/www/lexique.html gives a glossary of terms used in the field. For precision *length* measurements, the tools of choice are special lasers, such as mode-locked lasers and frequency combs. There is a huge literature on these topics. Equally large is the literature on precision *electric current* measurements; there is a race going on for the best way to do this: counting charges or measuring magnetic forces. The issue is still open. On *mass* and atomic mass measurements, see Volume II, Trang 73. On high-precision *temperature* measurements, see Volume I, Trang 545. Cited on page 353.

304 The unofficial SI prefixes were first proposed in the 1990s by Jeff K. Aronson of the University of Oxford, and might come into general usage in the future. See New Scientist **144**, p. 81, 3 December 1994. Other, less serious proposals also exist. Cited on page 354.

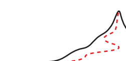
305 The various concepts are even the topic of a separate international standard, ISO 5725, with the title *Accuracy and precision of measurement methods and results*. A good introduction is John R. Taylor, *An Introduction to Error Analysis: the Study of Uncertainties in Physical Measurements*, 2nd edition, University Science Books, Sausalito, 1997. Cited on page 356.

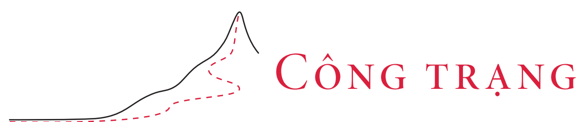
306 P. J. Mohr & B. N. Taylor, *CODATA recommended values of the fundamental physical constants: 1998*, Reviews of Modern Physics **59**, p. 351, 2000. This is the set of constants resulting from an international adjustment and recommended for international use by the Committee on Data for Science and Technology (CODATA), a body in the International Council of Scientific Unions, which brings together the International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP), the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) and other organizations. The website of IUPAC is www.iupac.org. Cited on page 357.

307 Some of the stories can be found in the text by N. W. WISE, *The Values of Precision*, Princeton University Press, 1994. The field of high-precision measurements, from which the results on these pages stem, is a world on its own. A beautiful introduction to it is J. D. FAIRBANKS, B. S. DEAVER, C. W. EVERITT & P. F. MICHAELSON, eds., *Near Zero: Frontiers of Physics*, Freeman, 1988. Cited on page 357.

308 For details see the well-known astronomical reference, P. KENNETH SEIDELMANN, *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*, 1992. Cited on page 363.

309 See the corresponding reference in the first volume. Cited on page 365.





Công trạng

Lời cám ơn

Many people who have kept their gift of curiosity alive have helped to make this project come true. Most of all, Peter Rudolph and Saverio Pascazio have been – present or not – a constant reference for this project. Fernand Mayné, Anna Koolen, Ata Masafumi, Roberto Crespi, Serge Pahaut, Luca Bombelli, Herman Elswijk, Marcel Krijn, Marc de Jong, Martin van der Mark, Kim Jalink, my parents Peter and Isabella Schiller, Mike van Wijk, Renate Georgi, Paul Tegelaar, Barbara and Edgar Augel, M. Jamil, Ron Murdock, Carol Pritchard, Richard Hoffman, Stephan Schiller, Franz Aichinger and, most of all, my wife Britta have all provided valuable advice and encouragement.

Many people have helped with the project and the collection of material. Most useful was the help of Mikael Johansson, Bruno Barberi Gnecco, Lothar Beyer, the numerous improvements by Bert Sierra, the detailed suggestions by Claudio Farinati, the many improvements by Eric Sheldon, the detailed suggestions by Andrew Young – see also his large, informative and no-frills website mintaka.sdsu.edu/GF – the continuous help and advice of Jonatan Kelu, the corrections of Elmar Bartel, and in particular the extensive, passionate and conscientious help of Adrian Kubala.

Important material was provided by Bert Peeters, Anna Wierzbicka, William Beaty, Jim Carr, John Merrit, John Baez, Frank DiFilippo, Jonathan Scott, Jon Thaler, Luca Bombelli, Douglas Singleton, George McQuarry, Tilman Hausherr, Brian Oberquell, Peer Zalm, Martin van der Mark, Vladimir Surdin, Julia Simon, Antonio Fermani, Don Page, Stephen Haley, Peter Mayr, Allan Hayes, Norbert Dragon, Igor Ivanov, Doug Renselle, Wim de Muynck, Steve Carlip, Tom Bruce, Ryan Budney, Gary Ruben, Chris Hillman, Olivier Glassey, Jochen Greiner, squark, Martin Hardcastle, Mark Biggar, Pavel Kuzin, Douglas Brebner, Luciano Lombardi, Franco Bagnoli, Lukas Fabian Moser, Dejan Corovic, Paul Vannoni, John Haber, Saverio Pascazio, Klaus Finkenzeller, Leo Volin, Jeff Aronson, Roggie Boone, Lawrence Tuppen, Quentin David Jones, Arnaldo Uguzzoni, Frans van Nieuwpoort, Alan Mahoney, Britta Schiller, Petr Danecek, Ingo Thies, Vitaliy Solomatin, Carl Offner, Nuno Proença, Elena Colazingari, Paula Henderson, Daniel Darre, Wolfgang Rankl, John Heumann, Joseph Kiss, Martha Weiss, Antonio González, Antonio Martos, André Slabber, Ferdinand Bautista, Zoltán Gácsi, Pat Furrie, Michael Reppisch, Enrico Pasi, Thomas Köppe, Martin Rivas, Herman Beeksma, Tom Helmond, John Brandes, Vlad Tarko, Nadia Murillo, Ciprian Dobra, Romano Perini, Harald van Lintel, Andrea Conti, François Belfort, Dirk Van de Moortel, Heinrich Neumaier, JarosThlaw Królikowski, John Dahlman, Fathi Namouni, Paul Townsend, Sergei Emelin, Freeman Dyson, S.R. Madhu Rao, David Parks, Jürgen Janek, Daniel Huber, Alfons Buchmann, William Purves, Pietro Redondi, Andrew Young, Damoon Saghian, Zach Joseph Espiritu, Wladimir Egorov, Markus Zecherle, Miles Mutka, plus a number of people who wanted to remain unnamed.

The software tools were refined with extensive help on fonts and typesetting by Michael Zedler and Achim Blumensath and with the repeated and valuable support of Donald Arseneau;

help came also from Ulrike Fischer, Piet van Oostrum, Gerben Wierda, Klaus Böhncke, Craig Upright, Herbert Voss, Andrew Trevorrow, Danie Els, Heiko Oberdiek, Sebastian Rahtz, Don Story, Vincent Darley, Johan Linde, Joseph Hertzlinger, Rick Zaccone, John Warkentin, Ulrich Diez, Uwe Siart, Will Robertson, Joseph Wright, Enrico Gregorio, Rolf Niepraschk and Alexander Grahn.

The typesetting and book design is due to the professional consulting of Ulrich Dirr. The typography was much improved with the help of Johannes Küster and his Minion Math font. The design of the book and its website also owe much to the suggestions and support of my wife Britta.

I also thank the lawmakers and the taxpayers in Germany, who, in contrast to most other countries in the world, allow residents to use the local university libraries.

From 2007 to 2011, the electronic edition and distribution of the Motion Mountain text was generously supported by the Klaus Tschira Foundation.

Công trạng phần Film

The animations of a plane electromagnetic wave on Trang 100 are copyright and courtesy by Thomas Weiland and taken from on his website www.temf.de at the Technische Universität Darmstadt. The animations of a polarized wave on Trang 116 are copyright and courtesy by José Antonio Díaz Navas. The animation of the electromagnetic field emitted by an oscillating charge on Trang 118 is copyright and courtesy by Daniel Schroeder. He will post it on his website physics.weber.edu/schroeder/mrr/MRRtalk.html one day. The animation of the electromagnetic field emitted by an oscillating dipole on Trang 119 is copyright and courtesy by Daniel Weiskopf and can be found on his website www.vis.uni-stuttgart.de/~weiskopf. The animation of group velocity on Trang 134 and of refraction on Trang 160 are copyright of the ISVR, University of Southampton, and courtesy of Steve Elliot. They can be found on the website www.isvr.soton.ac.uk. The astonishing film of a light pulse bouncing of a mirror on Trang 147 – also found in volume II – is copyright and courtesy of Wang Lihong and Washington University at St. Louis. The fascinating film of the herat beat of a mouse embryo on Trang 186 is copyright and courtesy of Kyrill Larin and found on his website at bol.egr.uh.edu.

Công trạng phần hình ảnh

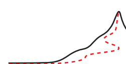
The photograph of the east side of the Langtang Lirung peak in the Nepalese Himalayas, shown on the front cover, is courtesy and copyright by Kevin Hite and found on his blog thegettingthere.com. The rare photograph of a circular rainbow on Trang 14 is copyright and courtesy of Oat Vaiyaboon, and taken from his flickr collection; his website is hangingpixels.com. The photographs of objects on Trang 16 are courtesy of Wikimedia and Royal Philips Electronics. The photograph of a rubbed comb's effect on water on Trang 16 is copyright and courtesy of Robert Fritzius and found on his website www.datasync.com/~rsf1/fun/bend-w.htm. The photographs of electric field lines on Trang 18 are copyright and courtesy of Eli Sidman, from the Technical Service Group of the Massachusetts Institute of Technology, and found on the group website on tsgphysics.mit.edu. The ground-breaking computer graphics of electric fields on Trang 18 are copyright and courtesy of the TEAL group at MIT, and found on their website web.mit.edu/8.02t/www/802TEAL3D/visualizations/guidedtour/Tour.htm. The photograph of lightning on Trang 19 is copyright Steven Horsburgh (see www.horsburgh.com) and used with his permission. The photograph of the Kelvin generator on Trang 20 is courtesy and copyright of Harald Chmela and taken from his website www.hcrs.at. The picture of the charge conservation experiment on Trang 22 is copyright and courtesy of Wolfgang Rueckner. On Trang 24, the photograph of the jam pot electrometer is courtesy and copyright of Harald

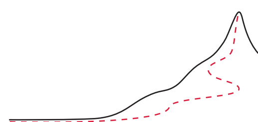
Chmela and taken from his website www.hcrs.at; the photograph of a white shark is copyright and courtesy of Klaus Jost and found on his beautiful website at www.jostimages.com; the photograph of the digital electrometer is courtesy and copyright of Advantest. On Trang 30, all photographs except one are courtesy Wikimedia; the photograph of the solar cell is copyright and courtesy of Q-Cells. On Trang 35, most photographs are courtesy of Wikimedia; the photograph of the galaxies is courtesy and copyright Anthony Ayiomamitis, the photograph of the Sun is courtesy NASA. On Trang 36, the photographs of magnetic field lines are courtesy of Wikimedia; the computer graphics are courtesy and copyright of MIT. On Trang 41, the pigeon cell photograph is courtesy and copyright of the Institute of Molecular Pathology in Vienna. The photograph of *M. bavaricum* on Trang 41 is copyright by Marianne Hanzlik and is courtesy of Nicolai Petersen. On Trang 43, the photographs of electric motors and of the galvanometer are courtesy of Wikimedia; the photographs of the modern electric motor is courtesy and copyright of Honda. The pictures of the Tesla coil on Trang 57 are courtesy and copyright of Robert Billon, and found on his website f3wm.free.fr. The photograph of the electrified hair on the playground, on Trang 58, is courtesy and copyright of Evan Keller and found on his website www.flickr.com/photos/evanrkeller. The magnetic storage visualizations shown on Trang 59 are copyright and courtesy of Hendryk Richert and found on his company website at www.matesy.de. The Gauss rifle on Trang 60 is courtesy and copyright Simon Quellen Field and found on his website www.sci-toys.com. On Trang 61, the photo of Robert Krampf is courtesy Wikimedia. On Trang 62, the photograph of the plasma globe is courtesy and copyright of Philip Evans. The photograph of a lifter on Trang 63 is courtesy and copyright of Jean-Louis Naudin; more information can be found on his website www.jlnlabs.org. The ocean figure on Trang 64 is courtesy of Stefan Maus, and taken from his www.gfz-potsdam.de/pb2/pb23/SatMag/ocean_tides.html website. On Trang 71, the images on the magnetic environment of the Earth are courtesy NASA. The simple motor photograph on Trang 72 is courtesy and copyright of Stefan Kluge. The photograph of the floating bed model on Trang 74 and the computer graphics of the imagined full-size floating bed are courtesy and copyright Janjaap Ruissenaars at www.UniverseArchitecture.com. The comic on Trang 75 is copyright and courtesy of Randall Munroe, and found on his website xkcd.com. On Trang 75, the permittivity images are copyright of Kenneth Mauritz and courtesy of Wikimedia. On Trang 53, the graphics of nerves are copyright and courtesy of Thomas Heimburg and Wiley-VCH. The picture of the rainbow on Trang 91 is from the NOAA website. On Trang 95, the photograph of thought control are copyright and courtesy of Fraunhofer FIRST. The prism photograph on pages 99 and on 126 is by Susan Schwartzenberg and courtesy and copyright of the Exploratorium, found at www.exploratorium.edu. On Trang 100, the photograph of Heinrich Hertz is courtesy of Wikimedia. On Trang 101, the photograph of the reconstructed transmitters and receivers are copyright and courtesy of the Fondazione Guglielmo Marconi. The photographs of the beautifully simple remote control shown on Trang 102 are copyright and courtesy of Guido Pegna, and found on his website www.pegna.com. The finger image on Trang 103 is copyright and courtesy of Chuck Bueter and found on his instructive astronomy website old.transitofvenus.org. The secondary rainbow picture on Trang 103 is courtesy and copyright of Antonio Martos. The supernumerary rainbow picture on Trang 103 is courtesy and copyright of Wolfgang Hinz and from his website www.meteoros.de. On Trang 104, the measurement graph is courtesy and copyright of the Nature Publishing Group. The guitar interference image on Trang 105 is copyright and courtesy of Bernard Richardson at Cardiff University. The telescope mirror interference image is copyright and courtesy of Mel Bartels and found on his site www.bbastrodesigns.com. The speckle pattern image is copyright and courtesy of Epzcaw and found on Wikimedia Commons. The images of the patterns produced by the double slit are copyright and courtesy of Dietrich Zawischa and found on his website on beauty and science at www.itp.uni-hannover.de/~zawischa. The

combined infrared and visible rainbow picture on Trang 106 is courtesy and copyright of Stefan Zeiger collection at www.photo.net/photodb/member-photos?include=all&user_id=439012. On Trang 112, the antenna photographs are copy Martin Abegglen and K. Krallis and are courtesy Wikimedia. The photographs of birefringence on Trang 113 are copyright and courtesy of Roger Weller, from his website skywalker.cochise.edu/wellerr/mineral/calcite/calcite1.htm, Brad Amos, from his website homepage.ntlworld.com/w.amos2/BradAmos'sWebsite, and Martin Pietralla, from his lecture material. The sky polarization pattern on Trang 114 is due to Keram Pfeiffer and courtesy of Elsevier; it can be found in Xem 66. The image of the field measurement on light on Trang 108 is courtesy and copyright of L. (Kobus) Kuipers. The photographs of levitated glass beads shown on Trang 121 are courtesy and copyright by Mark Raizen and Tongcang Li. The photograph of comet McNaught on Trang 122 is courtesy and copyright of Flagstaffotos. The photograph of rotating carbon nanotubes on Trang 124 is courtesy of A.C. Ferrari and taken from the paper Xem 79. On Trang 124, the photograph on how umbrellas decompose white light is courtesy of Wikimedia. The photograph of the solar green flash on Trang 127 is copyright and courtesy of Andrew Young and part of his extensive and fascinating website at mintaka.sdsu.edu/GF; the lunar green flash photograph is copyright and courtesy of Laurent Laveder and taken from his beautiful site at www.PixHeaven.net. The picture of milky water on Trang 128 was made for this text and is copyright by Antonio Martos. On Trang 129, the colour space graphs are copyright and courtesy of SharkD. The colour book on Trang 130 is copyright and courtesy of Tauba Auerbach; it can be found on her beautiful website taubaauerbach.com. The rainbow on Trang 131 is copyright and courtesy of Denis Betsch and can be found at www.atoptics.co.uk/fz696.htm. The fogbow photograph on Trang 132 is courtesy and copyright of Michel Tournay, and can be found on his website www.spacew.com/gallery/Micheltournay. The photograph of a split rainbow on Trang 132 is courtesy and copyright of Eva Seidenfaden, and can be found on her website www.paraselene.de. The photograph of the sixfold rainbow on Trang 132 is courtesy and copyright of Terje Nordvik, and can be found on antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap070912.html. The photograph of the red rainbow on Trang 132 is courtesy and copyright of Zhu XiaoJin, and can be found on his collection at www.cs.cmu.edu/~zhuxj/astro/. The photograph of the moon rainbow on Trang 132 is courtesy and copyright of Laurent Laveder, and can be found on his collection at www.pixheaven.net. The photograph of parhelia on Trang 133 is courtesy and copyright of Phil Appleton and found on the website www.astronet.ru/db/xware/msg/1174325/solsticehalo_appleton.jpg.html. The photograph of the circumzenithal arc on Trang 133 is courtesy and copyright of Paul Gitto. The photograph of the Mach–Zehnder interferometer on Trang 140 is copyright and courtesy of Félix Dieu and Gaël Osowiecki and found on their websites www.flickr.com/photos/felixdieu/sets/72157622768433934/ and www.flickr.com/photos/gaeloso/sets/72157623165826538/. The X-ray image of the hand on Trang 146 is copyright of Drgnu23 and courtesy of Wikimedia. On Trang 148, the solar spectrum is courtesy and copyright of Chris Gueymard, the world's leading expert on solar spectra. The picture of the red hot oven on Trang 150 is copyright and courtesy of Wolfgang Rueckner. The solar furnace photograph on Trang 151 is courtesy and copyright of Gerhard Weinrebe. On Trang 152, the photograph of the solar power plant is courtesy of Wikimedia. On Trang 155, the photographs of a laser and of an X-ray source are courtesy and copyright Time-Bandwidth and SPECS. The spookfish photograph on Trang 156 is courtesy and copyright of Tamara Frank, and found on her website www.flickr.com/photos/gioischia/. On Trang 157, the photograph of concentric mirrors is courtesy and copyright of Media Lario Technologies. The bent light beam photograph on Trang 158 is courtesy and copyright 2003 of Jennifer Nierer. The water glass graphics on Trang 159 are courtesy and copyright 2003 of Robin Wood, and found on his website www.robinwood.com. The images of the arrow illusion on Trang 159 are courtesy and copyright by Maric Vladimir; they are taken from a short film found on his youtube channel at www.youtube.

com/user/maricv84/videos. The photograph of a superior mirage on Trang 161 is courtesy and copyright by Thomas Hogan and found on his website home.centurytel.net/Arkcite/looming.htm. The photograph of an inferior mirage on Trang 161 is courtesy and copyright by Andy Barson and found on his website www.andybarson.co.uk. The images formed by lenses on Trang 165 are copyright and courtesy of Eric Kirchner and found in his paper cited in the text. The photo of a glory on Trang 166 is copyright of Brocken Inaglory and courtesy of Wikimedia Commons. The photographs about optical fibres on Trang 167 are copyright and courtesy of NOAA, Hochschule Mittweida and Schott. The drawing of a metamaterial on Trang 169 is copyright and courtesy of the IEEE and Michael Zedler. The photo of Poisson's spot on Trang 171 is courtesy and copyright of Christopher Jones, and taken from his website www.union.edu/PUBLIC/PHYDEPT/jonesc/scientific_photos.htm. On Trang 172, the images are courtesy and copyright of Jenoptik, Wikimedia and Jeff Sherman. The microscope picture on Trang 172 is copyright and courtesy of Stefan Hell. The X-ray images of a thumb on Trang 175 are courtesy and copyright of Momose Atsushi. The photo of a hologram on Trang 176 is copyright and courtesy of Yves Gentet and can be found on his website www.ultimate-holography.com. On Trang 178, the euro hologram is courtesy and copyright of Hans-Ulrich Pötsch and found on his website at www.hupoetsch.de/Makro.htm. The drawing on Trang 179 is from the Deutsche Gesellschaft für Holographie, courtesy of Niklas Möller and can be found at their excellent and informative website www.dgholo.de. On Trang 180, the interferogram of a guitar is courtesy of Wikimedia. On Trang 180, the photograph of a three-dimensional image system is courtesy and copyright of the USC Stevens Institute for Innovation. On Trang 182, the images are courtesy and copyright of Nikon andCarl Zeiss. On Trang 183, the photograph of the electron microscope is courtesy and copyright of Carl Zeiss; the image itself is courtesy of Wikimedia. The scanning near-field optical microscope images of Trang 184 are copyright and courtesy of WITec GmbH and found on their website www.witec.de. The X-ray tomographs on Trang 185 are copyright and courtesy of Manuel Dierick and his research group at the University of Ghent and found on his website at www.ugct.ugent.be. On Trang 186, the X-ray image is copyright and courtesy of Fraunhofer IIS. The infrared photograph on Trang 189 is copyright and courtesy of Serge Augustin. The photograph of the sunflower on Trang 190 is copyright and courtesy of Andrew Davidhazy and found on his website www.rit.edu/~andpph. The eye images of Trang 191 are courtesy and copyright of the National Eye Institute at the National Institute of Health in the USA. The pictures of retinas on Trang 198 are courtesy and copyright of Austin Roorda. The picture of the aureole on Trang 200 is copyright and courtesy of Bernt Rostad and found on his website www.flickr.com/photos/brostad/257104770/sizes/l/. On Trang 203, the photographs of image sensors are courtesy and copyright of Wikimedia, Austin Roorda, Hamamatsu Photonics and Guido Westhoff/Leo van Hemmen. On Trang 195, the illustrations are courtesy and copyright of Watcher; they are taken from his wonderful and beautiful blog at watchingtheworldwakeup.blogspot.com, full of passion for the nature around us. The photographs about the flat microscope based on a microlens array shown on Trang 195 are courtesy and copyright by Frank Wippermann. The photographs about the microscope made by folding a paper sheet on Trang 205 are courtesy and copyright by the Foldscope team at www.foldscope.com. The image of a single ion on Trang 206 is courtesy and copyright by Dave Kielpinski; possibly also MacMillan Publishing has some copyrights; they also allowed its use. On Trang 207, the endoscope figures are copyright and courtesy of Karl Storz. The pictures showing colour blindness on Trang 209 are courtesy and copyright of Michael Douma, from his splendid website at webexhibits.org/causesofcolor/2.html. The photographs of Ames rooms on Trang 211 are courtesy and copyright of Sergio Davini, taken from his website www.flickr.com/photos/mosso, and courtesy and copyright of David Darling, taken from his encyclopedic website www.daviddarling.info. On Trang 211, the colour illusion if courtesy and copyright of Kitaoka Akiyoshi, and taken from his wonderful website at www.ritsumei.ac.jp/

~akitaoka. The pseudoscope photo on Trang 212 is copyright and courtesy of Joshua Foer. The photograph on Trang 213 is courtesy and copyright Nick Veasey; his wonderful collection of stunning X-ray images can be found at www.untitled.co.uk. On Trang 214, the disk pit images are courtesy of Wikimedia. The spectacular photograph of a lightning stroke on Trang 219 is copyright and courtesy of Niklas Montonen. The cloud photographs on Trang 218 are courtesy of NASA. On Trang 219, the images are courtesy and copyright of nordique, NASA and NOAA. The pictures of laboratory plasma clouds that resemble ball lightning on Trang 221 are courtesy and copyright by Sergei Emelin and Alexei Pirozerski and taken from their website balllightning.narod.ru. The drawings of the interior of the Earth on Trang 223 are copyright and courtesy of MPI-Chemie, Mainz/GEO and can be found in the brochure at www.mpch-mainz.mpg.de/mpg/deutsch/Panels_B.pdf. They were kindly provided by Mirjana Kotowski. The computer graphics on Trang 224 are copyright and courtesy of Gary Glatzmaier; they can be found on his web page www.es.ucsc.edu/~glatz/geodynamo.html. The photographs of diamagnetic levitation on Trang 227 are copyright and courtesy of Joachim Schlichting and can be found on his website www.uni-muenster.de/Physik/DP. The photographs of the levitation of a rotating sphere on Trang 228 are copyright and courtesy of Kay Kublenz and can be found on his website www.schwebemagnet.de. On Trang 261, the electroencephalogram is courtesy of Wikimedia. On Trang 265, the neuron photograph is copyright of Medlat and courtesy of Wikimedia. The photograph of Fibonacci washers on Trang 298 is copyright and courtesy of Donald Simanek and can be found on his website www.lhup.edu/~dsimanek. The image of a smurf on Trang 280 is copyright 2016 by Peyo and licensed by I.M.P.S. in Brussels, found at www.smurf.com. The photograph of the flame on Trang 367 is courtesy and copyright by Shubham Das and was made for this book by him and Rakesh Kumar. The photograph on the back cover, of a basilisk running over water, is courtesy and copyright by the Belgian group TERRA vzw and found on their website www.terravzw.org. All drawings are copyright by Christoph Schiller. If you suspect that your copyright is not correctly given or obtained, this has not been done on purpose; please contact me in this case.





Bảng tra cứu nhân danh

I

J

K

T

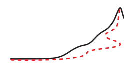
U

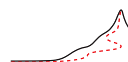
V

W

W

WASHIZU

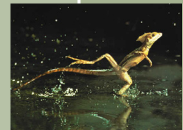




HÀNH SƠN

Cuộc phiêu lưu của Vật lý – Quyển I

Ánh sáng, Điện tích và Não bộ



Điện và từ là gì?
Cầu vồng đã được tạo ra như thế nào?
Cuộc du hành dị thường nhất là gì?
Ánh sáng là gì?
Người ta đã làm các vật bay lơ lửng như thế nào?
Laser có thể làm được việc gì?
Sự khác nhau giữa não bộ và máy tính điện tử?
Thảm hoạ lớn nhất có thể xảy ra trong tương lai là gì?
Bài toán Vật lý nào chưa giải được?

Qua việc trả lời các câu hỏi về chuyển động, bộ sách này giới thiệu cho các bạn một phần vật lý hiện đại thú vị và nhức đầu – vì bạn sẽ ngạc nhiên và bị thử thách trên từng trang sách. Khởi đi từ cuộc sống hằng ngày, cuộc thám hiểm này sẽ cung cấp cho các bạn một tổng quan về các thành quả mới nhất trong Cơ học, Nhiệt học, Điện từ học, Thuyết tương đối, Vật lý lượng tử và Lý thuyết thống nhất.

Christoph Schiller, PhD Université Libre de Bruxelles, là một nhà vật lý và là người viết sách phổ biến vật lý. Ông viết bộ sách này cho con mình đọc và cũng dành cho mọi học sinh, giáo viên và độc giả quan tâm đến vật lý - khoa học về sự chuyển động.

Ấn bản miễn phí dạng Pdf có tại
www.motionmountain.net

